

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL:
VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIA

GILDO RAFAEL DE ALMEIDA SANTANA

MACAÉ-RJ

2021

GILDO RAFAEL DE ALMEIDA SANTANA

EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL:
VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área concentração Gestão de Recursos Hídricos, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Vicente de Paulo Santos de Oliveira

Coorientador: Dr. Jader Lugon Junior

Coorientadora: Dra. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva

MACAÉ-RJ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S232e Santana, Gildo Rafael de Almeida, 1988-.
Eventos secos e chuvosos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: variabilidade espaço-temporal e tendência / Gildo Rafael de Almeida Santana. — Macaé, RJ, 2021.
xiv, 56 f.: il. color.

Orientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.
Coorientador: Jader Lugon Junior, 1962-.
Coorientadora: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, 1954-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2021.
Inclui referências.
Área de concentração: Gestão de Recursos Hídricos.
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Precipitação (Meteorologia) – Variabilidade – Paraíba do Sul, Rio, Bacia. 2. Variabilidade da precipitação. 3. Mudanças climáticas. 4. Hidrometeorologia – Métodos estatísticos. 5. Índice de Precipitação Padronizado. I. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, 1965-, orient. II. Lugon Junior, Jader, 1962-, coorient. III. Silva, Maria Gertrudes Alvarez Justi da, 1954-, coorient. IV. Título.


CDD 551.570981

(23. ed.)

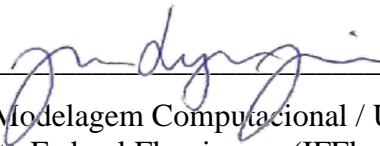
Dissertação intitulada **EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL: VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIA**, elaborada por **Gildo Rafael de Almeida Santana** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Gestão de Recursos Hídricos, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 26/3/2021

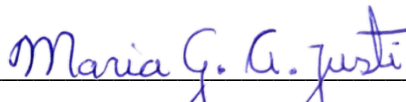
Banca Examinadora:



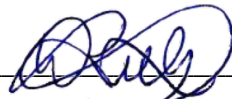
Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Viçosa (UFV), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador



Maria Gertrudes Alvarez Jsuti da Silva, Doutora em Engenharia Mecânica / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Coorientadora (Membro Externo)



Wagner Rambaldi Telles, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade Federal Fluminense (UFF) – (Membro Externo)

DEDICATÓRIA

A Minha família, com carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) pelo ensino público gratuito e de qualidade.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em especial ao Laboratório de Meteorologia (LAMET) pela parceria no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA), pela dedicação e persistência em face ao desmonte do ensino público, pelos conteúdos ministrados e pela contribuição para a minha formação profissional.

Aos professores Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Jader Lugon Junior e Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva por terem aceitado o desafio desta orientação e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento desta pesquisa.

A professora Eliane Barbosa Santos pelos ensinamentos, pelas revisões, por não ter me deixado desanimar e por todo apoio durante as análises dos dados da qual este trabalho é fruto.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), pela disponibilização e qualidade dos dados hidrometeorológicos.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), pela disponibilização e qualidade dos dados vetoriais.

A todos os membros da banca examinadora, por terem aceitado contribuir com este trabalho.

A comunidade de desenvolvedores que disponibiliza, mantém e aprimora os *softwares* livres QGIS e

R.

MUITO OBRIGADO!

EPIGRAFE

"No começo pensei que estivesse lutando para salvar
seringueiras, depois pensei que estava lutando para
salvar a Floresta Amazônica. Agora, percebo que estou
lutando pela humanidade"
(Chico Mendes).

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 – Bacia do Rio Paraíba do Sul, Seus Principais Rios e a Localização das Usinas Hidrelétricas.....	02
--	----

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – Média do total pluviométrico anual na Bacia do Rio Paraíba do Sul para o período de 1970 a 2018.....	09
Figura 2 – Imagem de Satélite no Canal Infravermelho do GOES-16 Tomada no dia 01 de março de 2020, onde se evidencia um Episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	10
Figura 3 – Precipitação observada (mm) no Brasil em 01 de março de 2020.....	11
Figura 4 – Total de danos humanos causados por desastres na região Sudeste.....	13
Figura 5 – Áreas afetadas pelo desastre natural de 2011 em Nova Friburgo-RJ. A. Carro e Casas Tomados pela Lama, B. Prédio no centro de Nova Friburgo.....	14
Figura 6 – Distribuição espacial do número de ocorrência de (a) estiagem e (b) seca, obtidos no S2ID, registrados nos municípios que compõem a Bacia do Rio Paraíba do Sul entre 2002 a 2016.....	17

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – Bacia do Rio Paraíba do Sul, Seus Principais Rios e a Localização dos Postos Pluviométricos Utilizados Neste Trabalho.....	32
Figura 2 – Porcentagem de área da Bacia do Rio Paraíba do Sul afetada por eventos secos e úmidos identificados pelos valores do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro): a) Total de eventos secos e úmidos, b) Eventos moderadamente seco e moderadamente úmido, c) Eventos muito seco e muito úmido, e d) Eventos extremamente seco e extremamente úmido.....	39

Figura 3 –	Abrangência espacial da intensidade do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) para os eventos secos ($SPI \leq -1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1970 (31,5% da área), 1984 (23,6% da área), 1990 (28,1% da área), 2014 (73,0% da área) e 2017 (30,3% da área)	40
Figura 4 –	Abrangência espacial da anomalia de precipitação (mm/ano) para os anos considerados secos ($SPI \leq -1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1970 (31,5% da área), 1984 (23,6% da área), 1990 (28,1% da área), 2014 (73,0% da área) e 2017 (30,3% da área)	41
Figura 5 –	Abrangência espacial da intensidade do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) para os eventos úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1983 (77,5% da área), 1985 (44,9% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 2009 (61,8% da área)	42
Figura 6 –	Abrangência espacial da anomalia de precipitação (mm/ano) para os anos considerados úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1983 (77,5% da área), 1985 (44,9% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 2009 (61,8% da área)	43
Figura 7 –	Total de ocorrência de eventos secos ($SPI \leq -1,00$) entre 1970 e 2018 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente seco ($-1,00 \geq SPI \geq -1,49$), muito seco ($-1,50 \geq SPI \geq -1,99$) e extremamente seco ($SPI \leq -2,00$)	44
Figura 8 –	Total de ocorrência de eventos úmidos ($SPI \geq 1,00$) entre 1970 e 2018 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente úmido ($1,00 \leq SPI \leq 1,49$), muito úmido ($1,50 \leq SPI \leq 1,99$) e extremamente úmido ($SPI \geq 2,00$)	45
Figura 9 –	Magnitude das tendências das séries anuais de precipitação e o resultado do teste de Mann-Kendall com as tendências estatisticamente significativas ao nível de 5%	46

LISTA DE TABELAS**ARTIGO CIENTÍFICO 1**

Tabela 1 – Número de pessoas afetadas no desastre natural de 2011 em Nova Friburgo-RJ.....	14
Tabela 2 – Tabela 2 – Número de eventos de estiagem e seca registrados nos municípios pertencentes a Bacia do Rio Paraíba do Sul entre 2002 a 2016.....	17

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 – Valores do SPI e Categorias de Períodos Secos ou Períodos Úmidos.....	35
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

S2ID – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SCM – Sistemas Convectivos de Mesoescala

SPI – Índice de Precipitação Padronizado

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL: VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL E TENDÊNCIA

RESUMO

Os registros de ocorrência de eventos extremos de precipitação, seja por excesso ou déficit, mostram como a população, em geral, está suscetível aos danos causados por esses fenômenos. No campo ou na cidade, os desastres naturais são responsáveis por danos econômicos, materiais e humanos e, dependendo da vulnerabilidade da comunidade, esses danos podem ser catastróficos. O objetivo deste trabalho foi estudar e caracterizar os extremos de precipitação (déficit ou excesso) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Para isso, foram utilizados dados de precipitação de 88 postos pluviométricos, para o período de 1970 a 2018. Neste estudo, os eventos extremos de precipitação (déficit ou excesso) foram caracterizados pelo Índice Padronizado de Precipitação, na escala de 12 meses (SPI-12). Para detectar tendências estatisticamente significativas, utilizou-se o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall. A magnitude das tendências foi obtida pelo estimador de Sen. A partir das séries temporais do SPI-12, identificou-se que os eventos de déficit e excesso de precipitação mais severos e de maior abrangência espacial, ocorridos entre 1970 a 2018, foram registrados em 2014 (73,0% da área) e 1983 (77,5% da área), respectivamente. Com relação a localização exata (área) da bacia atingida por cada um dos eventos mais severos e de maior abrangência espacial, destaca-se a região norte da bacia por ser a mais atingida pelos eventos secos. Na análise de tendência das séries anuais de precipitação, as maiores magnitudes positivas (acima de 9 mm/ano) foram observadas em Areal-RJ, Patrocínio do Muriaé-MG, Jussara-MG, Carangola-MG e Fazenda São João-SP. Nas magnitudes negativas, destacam-se as registradas em Vigário Descarga D'água-RJ (-38,88mm/ano) e Alto S. do Mar-B Mato Limpo-SP (-32,78mm/ano), por apresentarem elevadas taxas de diminuição. De modo geral, os resultados obtidos sinalizam que o regime pluviométrico na Bacia do Rio Paraíba do Sul vem sofrendo alterações locais, apresentando tendência significativa (ao nível de confiança de 95%) positiva em 5 postos pluviométricos e negativa em 6 postos, ou seja, em algumas regiões os totais de precipitação vêm diminuindo e em outras vêm aumentando. Assim, este estudo assinala para a importância do monitoramento hidrológico pontual e regional. Espera-se que os resultados obtidos neste estudo possam subsidiar ações de planejamento e gestão hídrica e ambiental, visando reduzir a vulnerabilidade aos danos causados pela ocorrência de eventos extremos de precipitação na área de estudo.

Palavras-chave: Índice de Precipitação Padronizada. Déficit e Excesso de Precipitação. Tendência Climática. Extremos Climáticos.

**DRY AND RAINY EVENTS IN THE PARAÍBA DO SUL RIVER HYDROGRAPHIC BASIN:
SPACE-TEMPORAL VARIABILITY AND TREND**

ABSTRACT

Records of the occurrence of extreme precipitation events, whether due to excess or deficit, show how the population, in general, is susceptible to the damage caused by these phenomena. In the countryside or in the city, natural disasters are responsible for economic, material and human damage and, depending on the vulnerability of the community, such damage can be catastrophic. The objective of this work was to study and characterize the extremes of precipitation (deficit or excess) in the Paraíba do Sul River Basin. For this purpose, precipitation data from 88 pluviometric stations were used for the period from 1970 to 2018. In this study, extreme precipitation events (deficit or excess) were characterized by the Standardized Precipitation Index, on the 12-month scale (SPI-12). To detect statistically significant trends, the Mann-Kendall non-parametric statistical test was used. The magnitude of the trends was obtained by the estimator of Sen. From the SPI-12 time series, it was identified that the most severe deficit and excess precipitation events, occurring between 1970 and 2018, were recorded in 2014 (73.0% of the area) and 1983 (77.5% of the area), respectively. With regard to the exact location (area) of the basin affected by each of the most severe events and with the greatest spatial coverage, the northern region of the basin stands out for being the most affected by dry events. In the trend analysis of the annual precipitation series, the highest positive magnitudes (over 9 mm / year) were observed in Areal-RJ, Patrocínio do Muriaé-MG, Jussara-MG, Carangola-MG and Fazenda São João-SP. In the negative magnitudes, those recorded in Vigário Descarga D'água-RJ (-38.88mm / year) and Alto S. do Mar-B Mato Limpo-SP (-32.78mm / year) stand out, as they present high rates decrease. In general, the results obtained indicate that the rainfall regime in the Paraíba do Sul River Basin has undergone local changes, presenting a significant trend (at the 95% confidence level) positive in 5 pluviometric stations and negative in 6 stations, that is, in some regions total precipitation has been decreasing and in others it has been increasing. Assim, este estudo assinala para a importância do monitoramento hidrológico pontual e regional. Espera-se que os resultados obtidos neste estudo possam subsidiar ações de planejamento e gestão hídrica e ambiental, visando reduzir a vulnerabilidade aos danos causados pela ocorrência de eventos extremos de precipitação na área de estudo.

Keywords: *Standardized Precipitation Index. Precipitation Deficit. Climate Trend. Climatic extremes.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELA.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
ARTIGO CIENTÍFICO 1 PRECIPITAÇÃO E EVENTOS EXTREMOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL: UMA REVISÃO TEÓRICA.....	04
1. INTRODUÇÃO.....	06
2. MOTODOLOGIA.....	07
3. REVISÃO TEÓRICA.....	08
3.1 Climatologia da Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: Médias Anuais e Sazonais da Precipitação.....	08
3.2 Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes na Bacia do Rio Paraíba do Sul.....	10
3.3 Os Extremos de Precipitação e Seus Impactos.....	12
3.3.1 Precipitações Extremas.....	13
3.3.2 Estiagem e Seca.....	15
4. CONCLUSÃO.....	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
ARTIGO CIENTÍFICO 2: CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL	27
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	31
2.2. Dados.....	32
2.3 Índice de Precipitação Padronizada.....	33
2.3.2 Análise de Tendência.....	35
2.3.3 Interpolação.....	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4. CONCLUSÃO.....	47
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO	53

APÊNDICE 1. GLOSSÁRIO.....	54
APÊNDICE 2. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA NESTE ESTUDO....	56

APRESENTAÇÃO

De acordo com Marengo e Hastenrath (1993), a precipitação é um dos principais elementos que constitui o clima, tendo em vista que, além de interferir no comportamento de outros elementos climáticos como temperatura e umidade, ela é que melhor caracteriza a variabilidade climática das regiões tropicais e subtropicais. Além disso, a ocorrência de extremos de precipitação, déficit ou excesso, são causadores de sérios prejuízos sociais, econômicos, ambientais e humanos.

A análise e o entendimento dos problemas causados pelos extremos de precipitação, irão depender da sua magnitude, da localização e da sua duração. Todavia, é importante chamar atenção para o fato de que sendo em quantidade e período adequado, a precipitação pode resultar em benefícios em diversas áreas (PEREIRA *et al.*, 2013).

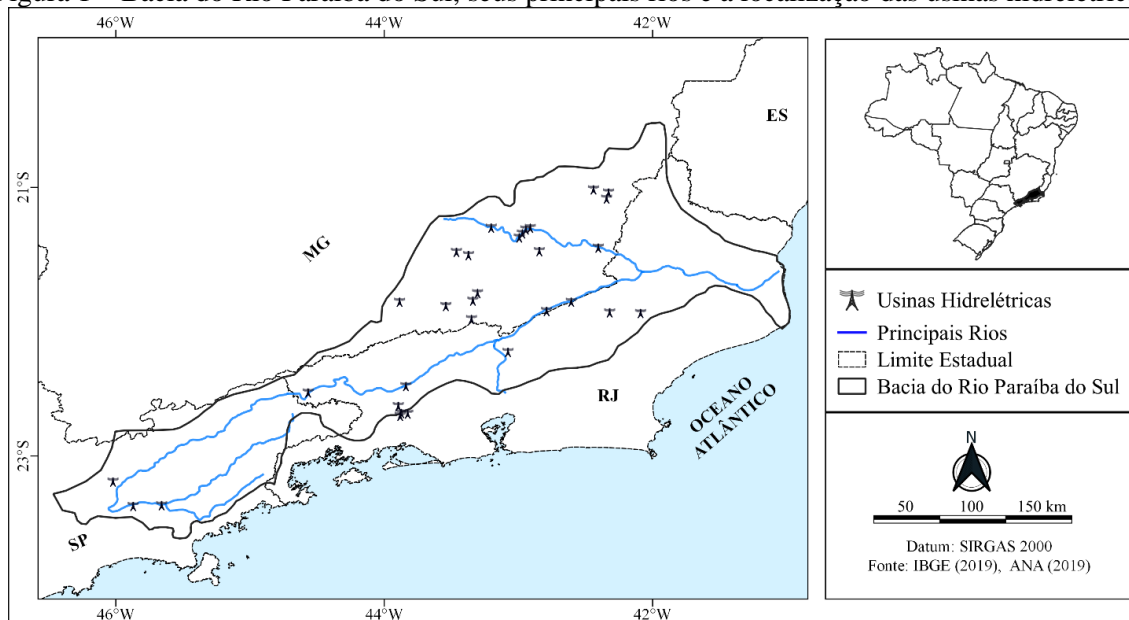
Apesar de a seca ser um fenômeno natural que tem sua origem no déficit prolongado de precipitação, ela só é considerada desastre natural quando atinge áreas habitadas, sendo causadora de danos materiais e humanos, além de prejuízos sociais e econômicos. Quando a economia local está ligada diretamente às atividades da agropecuária, dependendo da necessidade de irrigação e do seu grau de importância, esses danos socioeconômicos podem gerar uma situação de calamidade (CEPED UFSC, 2013a). Além disso, secas prolongadas contribuem para o aumento das queimadas, elevando os riscos de diminuição da biodiversidade.

Por outro lado, as fortes chuvas associadas às tempestades de verão, provocam enchentes, alagamentos, desmoronamento, inundações e enxurrada, além de perdas materiais, econômicas e humanas, gerando grandes impactos sobre a sociedade. Conforme descrito por Santos e Satyamurty (2002), em uma grande cidade, a ocorrência de uma chuva forte e rápida com intensidade de 40 mm/hora, provoca inundações repentinas. Eventos dessa magnitude, por exemplo, ocorrem de três a seis vezes ao ano na região da grande São Paulo. Todavia, em comparação com as cidades, a ocorrência de um evento dessa magnitude em áreas florestais não é algo raro e nem causa grandes prejuízos.

Na região Sudeste do Brasil, com o aumento populacional nas grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, a ocorrência de extremos de precipitação (déficit ou excesso) pode trazer grandes impactos a essas populações e ao setor elétrico brasileiro. Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul tem se destacado, nacionalmente, pelos elevados conflitos de usos múltiplos da água em toda a sua extensão, como por exemplo, pelo desvio de suas águas para a Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, com o objetivo de abastecer a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. Esse destaque ganha maior magnitude pelo fato de a Bacia Paraíba do Sul estar localizada em uma das regiões mais desenvolvidas do país, onde encontram-se os maiores polos industriais e populacionais

(BRASIL, 2019). Na Figura 1 é mostrada a distribuição espacial e a localização das usinas hidrelétricas instaladas e em operação na bacia entre grandes, médias e pequenas geradoras.

Figura 1 – Bacia do Rio Paraíba do Sul, seus principais rios e a localização das usinas hidrelétricas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Diante do exposto, a motivação para a realização deste estudo está na necessidade de um melhor entendimento do comportamento dos eventos extremos de precipitação (déficit e excesso) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, pois essas informações podem contribuir para um planejamento estratégico melhor. Além disso, vale destacar que esta pesquisa está fortemente relacionada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial ao ODS 6, que tem como principal objetivo, assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é estudar, caracterizar e identificar as áreas atingidas por eventos extremos de precipitação (déficit e excesso) na região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, para o período de 1970 a 2018.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- I. Caracterizar os eventos extremos de precipitação utilizando o Índice de Precipitação Padronizado;
- II. Estudar a frequência e intensidade dos extremos (déficit e excesso de precipitação);
- III. Realizar uma análise da abrangência espacial dos extremos;

- IV. Identificar as regiões mais atingidas pelos extremos;
- V. Avaliar se existe tendência temporal nos totais anuais de precipitação;

Desta forma, este trabalho será organizado em duas seções: Seção1, onde é apresentado o Artigo Científico 1, em que se realizou uma revisão bibliográfica acerca do regime de precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, abordando os principais sistemas atmosféricos atuantes na região e, Seção 2, em que se apresenta o Artigo Científico 2, onde são mostrados e discutidos os resultados da análise da variabilidade, abrangência, frequência, duração e tendência dos eventos secos e chuvosos na Bacia do Rio Paraíba do Sul para o período de 1970 a 2018.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

PRECIPITAÇÃO E EVENTOS EXTREMOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL: UMA REVISÃO TEÓRICA

PRECIPITATION AND EXTREME EVENTS IN THE PARAÍBA DO SUL RIVER BASIN: A THEORETICAL REVIEW

Gildo Rafael de Almeida Santana - IFFluminense/PPEA

Vicente de Paulo Santos de Oliveira- IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior -IFFluminense/PPEA

Maria Gertrudes A. Justi da Silva - UENF/LAMET

Eliane Barbosa Santos - UENF/LAMET

RESUMO

O entendimento do comportamento da precipitação e seus extremos torna-se cada vez mais imprescindível. O objetivo deste estudo foi apresentar uma revisão teórica sobre estes aspectos na Bacia do Rio Paraíba do Sul, englobando os principais sistemas atmosféricos que atuam na região, assim como os impactos causados pela ocorrência dos seus extremos. De forma geral, destaca-se a importância de estudos com um maior aprofundamento no entendimento da variabilidade climática e eventos extremos na Bacia do Rio Paraíba do Sul, de modo a contribuir no planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos.

Palavras chave: Déficit de Precipitação. Excesso de Precipitação. Impactos de Eventos Extremos.

ABSTRACT

The understanding of the behavior of precipitation and its extremes becomes more and more essential. The objective of this study is to present a theoretical review on these aspects in the Paraíba do Sul river, encompassing the main atmospheric systems that affect the region, as well as the impacts caused by two extreme events. In general, the importance of studies is highlighted as a greater understanding of the lack of understanding of climatic variability and extreme events in the Paraíba do Sul river, in order to contribute to the environmental planning and management of two water resources.

Keywords: *Precipitation Deficit. Excessive Precipitation. Impacts of Extreme Events.*

1. INTRODUÇÃO

Conhecer do comportamento da precipitação e seus extremos é de fundamental importância para o planejamento de diversas atividades humanas, como a produção de energia e em projetos de dimensionamento de obras hidráulicas, auxiliando inclusive na tomada de decisões quanto às medidas necessárias para minimizar os danos decorrentes dos eventos extremos.

A ocorrência dos extremos de chuva, seja excesso ou déficit, provoca danos que podem ser irreparáveis. No caso das chuvas intensas, os registros de desastres naturais mais comuns no Sudeste do Brasil são enchentes, alagamentos, enxurradas, deslizamento de terra ou desmoronamento, além de casos de inundação. São eventos que afetam de forma direta e indireta a vida econômica e social da população, causando prejuízos aos serviços essenciais como fornecimento de energia elétrica, abastecimento de água, saneamento, saúde e até mesmo muitos óbitos.

Já a seca, que também é um fenômeno natural que afeta o Sudeste do Brasil, fica evidenciada pela deficiência de precipitação durante um período prolongado, sendo capaz de provocar grandes impactos de caráter social, econômico, agrícola e ambiental. Dependendo da sua intensidade, além de afetar diretamente o abastecimento de água, a seca também compromete a geração de energia hidrelétrica, que é a maior fonte de eletricidade no Brasil. Vale destacar que os danos econômicos podem ser catastróficos, no caso em que a economia local está diretamente ligada às atividades da agropecuária, dependendo do tamanho da cultura, da necessidade de irrigação e do seu nível de importância para a economia local (CEPED UFSC, 2013a).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), a escassez na disponibilidade de água é um fator considerado crítico no Brasil, tendo em vista que além do abastecimento público, mais da metade (66,6%) da matriz elétrica tem sua origem na geração de energia hidrelétrica. Além do mais, levando-se em consideração a abrangência em que ocorre e as consequências que causa em diferentes áreas do país, o impacto com que o fenômeno da seca é sentido deve-se, também, à deficiência na gestão dos recursos hídricos e de políticas públicas para o seu enfrentamento (BRASIL, 2017a).

No cenário nacional, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul destaca-se por estar localizada na Região Sudeste, em uma das regiões mais desenvolvidas do país. Vinte e oito municípios que pertencem aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro são banhados pelo rio Paraíba do Sul e captam água para abastecimento público (GALVÃO; BERMANN, 2015). Segundo Ioris (2011), há cerca de 120 usinas hidrelétricas em operação na bacia entre grandes, médias e pequenas geradoras.

Diante deste contexto, justifica-se a elaboração deste estudo cujo objetivo principal foi compilar o conhecimento já produzido sobre o comportamento da precipitação e da ocorrência de seus extremos na Bacia do Rio Paraíba do Sul.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa se baseia numa revisão teórica que abrange os seguintes tópicos:

- ✓ Climatologia da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul;
- ✓ Principais sistemas atmosféricos atuantes na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul;
- ✓ Os extremos de precipitação e seus impactos.

De acordo com Gil (2010), uma pesquisa exploratória tem por objetivo familiarizar o problema, no intuito de torná-lo mais explícito ou para construir hipóteses. A pesquisa aqui apresentada é qualitativa e pode ser classificada, quanto aos seus objetivos, como uma pesquisa exploratória. Ela está baseada em uma revisão teórica, realizada por meio de levantamento bibliográfico, com o intuito de obter mais informações acerca do tema estudado.

Primeiramente, apresenta-se uma visão geral da climatologia da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, destacando seu comportamento médio anual e sazonal. Em seguida, são descritos os principais sistemas meteorológicos atuantes na bacia e, por fim, são destacados os extremos de precipitação e seus impactos na região.

3. REVISÃO TEÓRICA

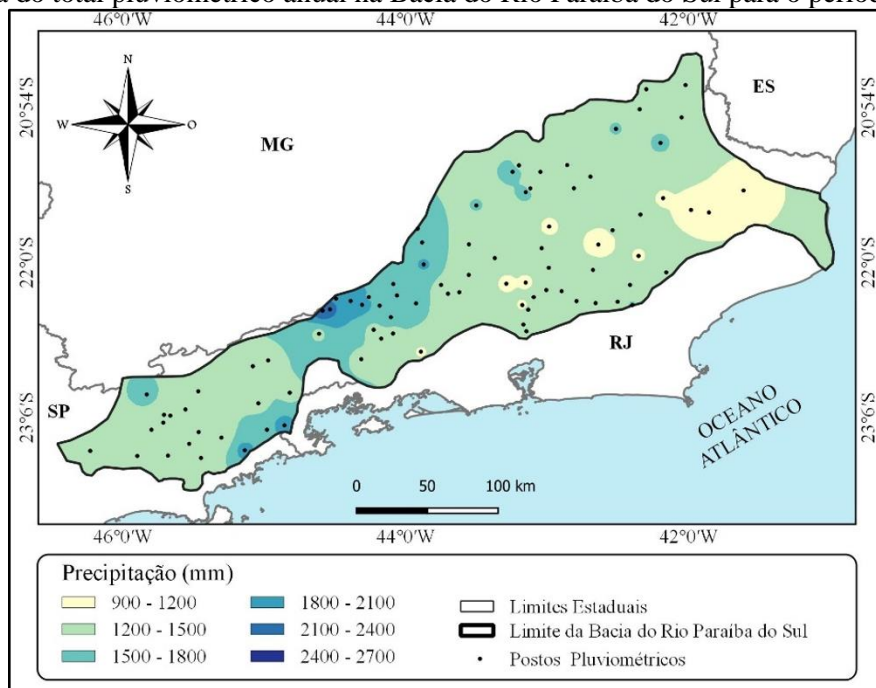
Nesta sessão será abordado de forma sucinta os principais aspectos da climatologia da precipitação e os impactos causados pela ocorrência de extremos (déficit e excesso de precipitação) na região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

3.1 Climatologia da Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: Médias Anuais e Sazonais da Precipitação

A região Sudeste do Brasil, onde está localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, é caracterizada como uma região de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias (QUADRO *et al.*, 2019). Outro fator que se deve levar em consideração é a topografia acidentada, visto que o relevo possibilita os maiores contrastes morfológicos do Brasil, com vales amplos e muito rebaixados e altas superfícies cristalinas e sedimentares. Essa característica topográfica contribui para a precipitação na região, pois possibilita a ocorrência de movimentos verticais no ar por meio da ascendência orográfica, condição indispensável na formação de nuvens e de chuvas (NIMER, 1989).

Segundo Brasiliense *et al.* (2020), os valores mais elevados de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul ocorrem nas regiões localizadas acima de 1.000 metros de altitude. Um estudo realizado por Marengo e Alves (2005), identificou que as máximas precipitações são registradas nas cabeceiras mineiras da bacia e nos pontos mais altos das serras do Mar e Mantiqueira, chegando a valores de 2.250 mm/ano. Santana *et al.* (2020) observou que os totais anuais variam entre 900 e 2.700 mm, e que os maiores totais pluviométricos, acima de 1.800 mm, foram registrados entre os estados de São Paulo e do Rio de Janeiro com o de Minas Gerais. Na Figura 1 é mostrada a média do total pluviométrico anual na Bacia do Rio Paraíba do Sul para o período de 1970 a 2018.

Figura 1 – Média do total pluviométrico anual na Bacia do Rio Paraíba do Sul para o período de 1970 a 2018.



Ainda de acordo com Santana *et al.* (2020), os menores valores encontrados para o período analisado são observados ao norte da bacia, eminentemente no Norte e Noroeste Fluminense, e apresentam núcleos de médias anuais de chuva abaixo de 1.200 mm. Os referidos autores ainda destacaram que o verão austral (período de verão no Hemisfério Sul) é o período chuvoso da região, com acumulados trimestrais entre 400 e 1.200 mm, sendo que as menores médias dos acumulados trimestrais (entre 30 e 200 mm), foram observadas no inverno austral. Esses resultados estão de acordo com o estudo realizado por Marengo e Alves (2005), que caracterizaram o verão como período chuvoso, com precipitação acumulada entre 200 e 250 mm/mês, enquanto no inverno observaram precipitação acumulada inferior a 50 mm/mês.

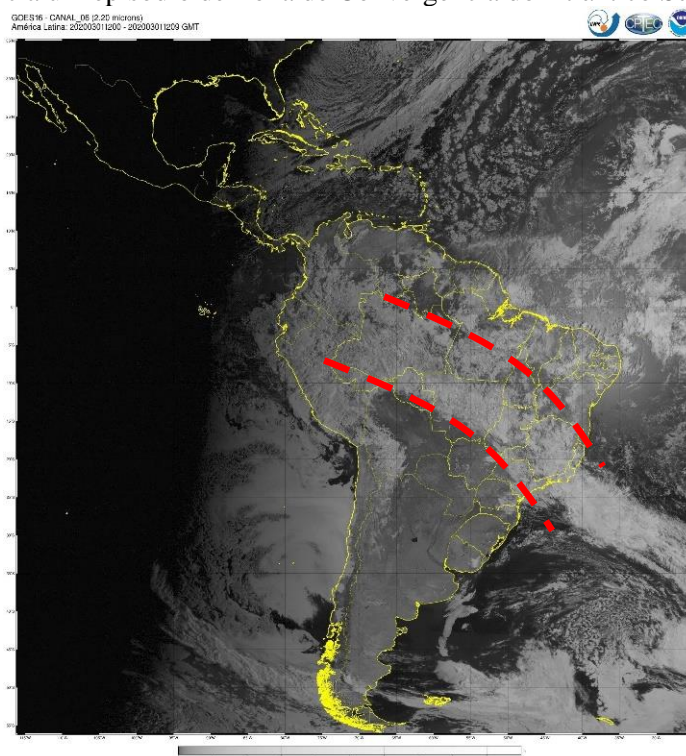
É importante destacar que a topografia e a posição geográfica são fatores que contribuem para que a região Sudeste possua uma diversificada característica climática, mas são os aspectos dinâmicos da atmosfera os principais responsáveis por esta diversificação. Esses aspectos dinâmicos dão origem aos sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escala (MINUZZI *et al.*, 2007; REBOITA *et al.*, 2010).

3.2 Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes na Bacia do Rio Paraíba do Sul

As monções ocorrem em regiões onde há reversão sazonal da circulação atmosférica em virtude do aquecimento diferencial entre os continentes e os oceanos. Na América do Sul observa-se a ocorrência de monções, mas a reversão dos ventos sobre o continente só é notada quando a média anual da direção e da intensidade do mesmo é extraída do valor sazonal (YNOUE, 2017).

O sistema de monção tem papel importante no transporte de umidade para a região central da América do Sul (GAN *et al.*, 2004; REBOITA *et al.*, 2010), como também modula a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (ZHOU; LAU, 1998; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004), que é um sistema quase estacionário com duração mínima de 4 dias, conforme descrito em alguns estudos (QUADROS, 1994; LIEBMAN *et al.*, 1999; FERREIRA *et al.*, 2004; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004). A ZCAS é uma importante característica da circulação de verão na América do Sul e, conforme mostra a Figura 2, é caracterizada por uma banda de nebulosidade convectiva, estendendo-se em geral desde a Amazônia até o Oceano Atlântico, numa direção noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988). Segundo Nobre (1988), a posição média do eixo da ZCAS pode variar de 10 a 15 graus ao longo da costa do Brasil.

Figura 2 – Imagem de satélite no canal infravermelho do GOES-16 tomada no dia 01 de março de 2020, onde se evidencia um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

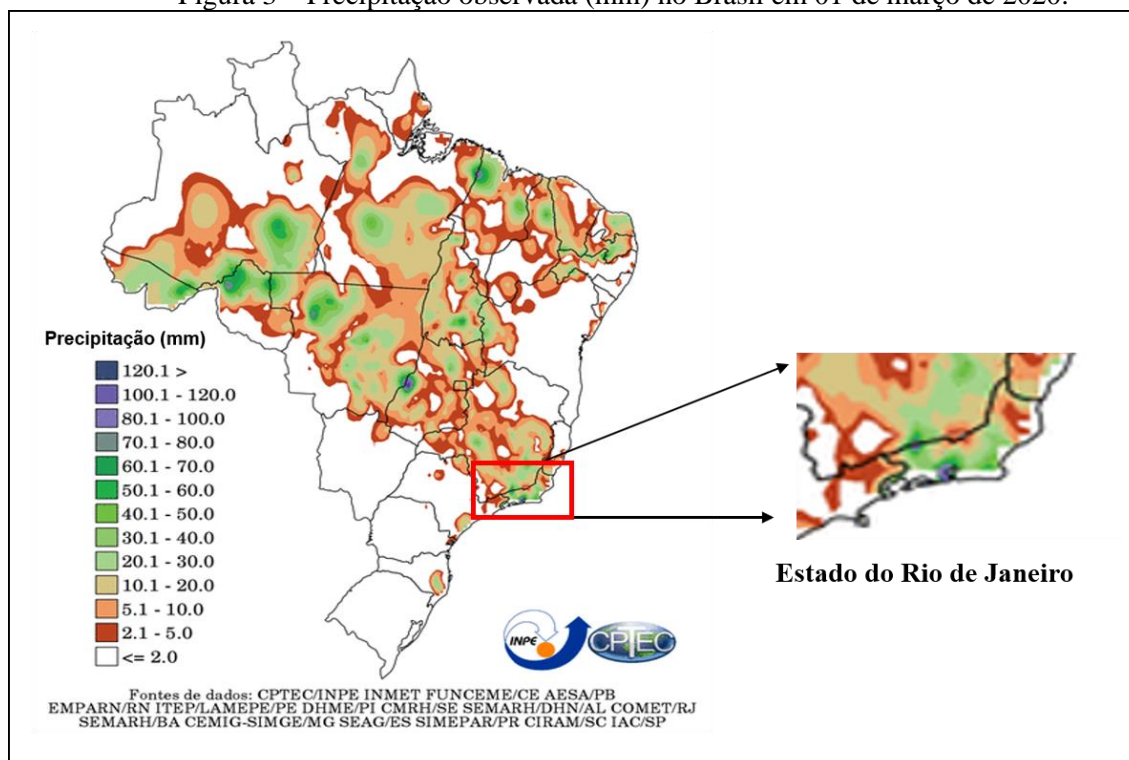


Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2020a).

Por apresentar uma característica climatológica associada ao escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, a ocorrência da ZCAS é comum no período do verão devido a convecção tropical acentuada, que contribui para a geração e manutenção do sistema (KODAMA, 1992; NOGUES-PAEGLE; MO, 1997; CARVALHO; JONES, 2009). Apesar dessa característica acontecer em todos os verões, podem ser observadas variações significativas em sua organização espacial, na circulação e intensidade, sendo essas muitas vezes responsáveis pela ocorrência de eventos intensos. Vale ressaltar que a alteração das características desse sistema meteorológico pode levar a períodos prolongados de estiagem ou má distribuição das chuvas em várias regiões do país (CARVALHO; JONES, 2009).

Neste sentido, a atuação da ZCAS é responsável por intensos e persistentes períodos de precipitação, assim como redução das chuvas nas adjacências (NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; QUADRO *et al.*, 2012). Na Figura 3 é mostrada a precipitação observada no dia 01 de março de 2020, período que foi registrado um episódio de ZCAS e, segundo a síntese sinótica de março de 2020 realizada pelo grupo de previsão de tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2020b), na referida data, a ZCAS favoreceu a ocorrência de chuva forte sobre a capital do estado do Rio de Janeiro, com acumulados (em 24 horas) maiores que 100 mm em alguns pontos, provocando alagamentos e inundações, o que ocasionou danos materiais e óbitos.

Figura 3 – Precipitação observada (mm) no Brasil em 01 de março de 2020.



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2020b).

Segundo Lima, Satyamurty e Fernández (2010), no verão austral, os eventos de precipitação intensa na região Sudeste estão associados, na maioria dos casos, às Frentes Frias (53%) e ao estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (47%). As Frentes Frias constituem em uma zona de transição entre duas massas de ar de diferentes densidades e temperaturas, que se aproximam e tendem a se manter individualizadas, conservando suas particularidades (VIANELLO; ALVES, 1991). São sistemas transientes que atuam durante todo o ano e são os que mais alteram a dinâmica da atmosfera (REBOITA *et al.*, 2010; KOUSKY, 1979). Durante o verão, se estabelecem frequentemente na região Sudeste do Brasil, na posição climatológica da ZCAS, originando longos períodos de chuva intensa (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009).

No Sudeste do Brasil, o período chuvoso concentra-se, em média, entre os meses de outubro a março, com início entre 23 de setembro e 7 de outubro (ALVES *et al.* 2002; 2005) e, segundo Alvarenga (2012), em decorrência das Frentes Frias, o período chuvoso no sul da região inicia-se mais cedo. Ainda segundo Alvarenga (2012), o setor norte da região Sudeste apresenta um atraso da estação chuvosa de 2 a 3 meses em relação ao sul, o que coincide com a atuação das ZCAS em dezembro.

Por outro lado, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), dependendo das suas posições, ocasionam grandes períodos de estiagens, interferindo de maneira direta e indireta no regime pluviométrico de várias regiões do Brasil (KELLER FILHO; ASSAD; LIMA, 2005; MINUZZI *et al.*, 2007).

Os baixos totais pluviométricos na região Sudeste ocorrem no inverno austral e, geralmente, estão associados ao comportamento do ASAS, já que nesta estação do ano esse sistema se desloca longitudinalmente em direção ao continente (REBOITA *et al.*, 2010) e é responsável pelas condições de céu claro ou com baixa nebulosidade na região. Todavia, a entrada de sistemas transientes como Ciclones Extratropicais, VCANs, e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), entre outros, propiciam um aumento da nebulosidade, a ocorrência de precipitação e a intensificação dos ventos, o que acaba por interromper a situação de estabilidade termodinâmica estabelecida pelo ASAS (DERECZYNSKI; MENEZES, 2015).

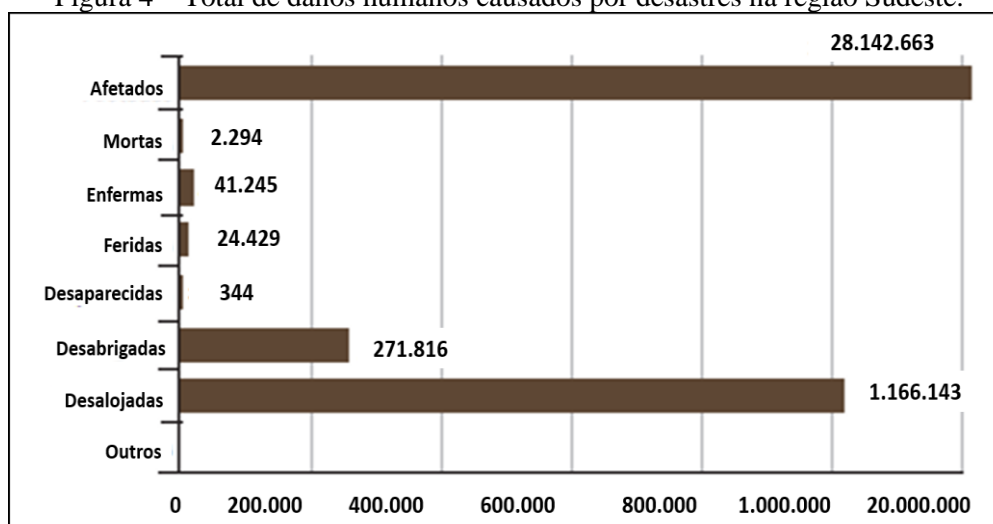
3.3 Os Extremos de Precipitação e Seus Impactos

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*, 2013), a ocorrência de alterações nos padrões climáticos, trazem consequências que provocam efeito direto sobre os sistemas naturais e humanos. Apesar dessas alterações fazerem parte da variabilidade natural do clima é preciso levar em consideração que elas também podem ser uma resposta às ações antrópicas, suscitando nas mudanças climáticas.

Em um levantamento sobre a ocorrência de desastres, realizado pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013a), para o período de 1991 a 2012, foi verificado que para os totais registrados no Sudeste brasileiro, a maioria (81%) das ocorrências está relacionada aos eventos de déficit ou excesso de precipitação, sendo 31% para estiagens e secas, 30% para enxurradas, e 20% para inundações. Já os episódios de movimentos de massa e vendavais correspondem, respectivamente, a 6,8 e 6,4%.

Com relação aos impactos desses eventos sobre a população da região Sudeste no período analisado, pode-se observar um elevado número de pessoas afetadas (28.142,663), desalojadas (1.166,143), desabrigadas (271.816) e enfermas (41.245), além de um número consideravelmente alto de mortes (2.294) (CEPED UFSC, 2013b) como mostrado na Figura 5.

Figura 4 – Total de danos humanos causados por desastres na região Sudeste.



Fonte: CEPED/UFSC (2013b, p. 121).

3.3.1 Precipitações Extremas

As precipitações extremas podem, a depender da vulnerabilidade local, causar danos sociais, econômicos e até óbitos. Como exemplo, pode-se citar os danos causados na cidade de Nova Friburgo em 2011, região serrana do estado do Rio de Janeiro, sul da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

De acordo Andrade e Pinheiro (2011), o volume acumulado de chuva na cidade de Nova Friburgo em janeiro de 2011, foi de 209,6 mm entre os dias 11 a 14, sendo 182,8 mm apenas em 24 horas. Na Tabela 1 é mostra a quantidade de pessoas afetadas decorrente do desastre de 2011. Somente após a ocorrência desse desastre foram iniciadas as ações de monitoramento e prevenção com a instalação de sistemas de alertas, com sirenes e radares.

Tabela 1 – Número de pessoas afetadas no desastre natural de 2011 em Nova Friburgo-RJ.

Tipo de Ocorrência	Nº de vítimas
Leptospirose	63
Óbitos	428
Total de Afetados	491

Fonte dos dados: G1 (2011). Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 4, observa-se algumas consequências do evento de 2011 na cidade de Nova Friburgo, que devido a gravidade dos impactos materiais e humanos, o governo decretou situação de emergência. Na cidade de Nova Friburgo, conforme Figura 4a, observa-se escombros e a quantidade de lama transportada pela enxurrada que arrastou carros e casas. Já na Figura 4b, o dano causado pela chuva em um prédio no centro da cidade pode demonstrar o quão intenso foi o evento ocorrido, de modo que parte do edifício desabou.

Figura 5 – Áreas afetadas pelo desastre natural de 2011 em Nova Friburgo-RJ. A: carro e casas tomados pela lama, B: prédio no centro de Nova Friburgo.



Fonte: G1 (2012).

Além do município de Nova Friburgo, outras cidades localizadas no interior e fora da Bacia do Rio Paraíba do Sul também foram afetadas pelo desastre de 2011. Como no caso de Petrópolis -RJ, onde foi reconhecido estado de calamidade pública, indicando uma crise mais grave. Esse evento de 2011 ficou conhecido como a “tragédia da região Serrana.”. A ocorrência de eventos de movimentação de massa/deslizamento ou desmoronamento de terra, vendavais, enchentes, inundações e enxurradas também são responsáveis por danos à população, principalmente as mais vulneráveis aos riscos de desastres naturais. Em 2020, por exemplo, fortes chuvas atingiram o Norte e o Noroeste Fluminense

em 24 e 25 de janeiro, deixando 8 cidades inundadas e pelo menos 6 mil desalojados ou desabrigados (G1, 2020).

3.3.2 Estiagem e Seca

A seca é um fenômeno natural caracterizado pela deficiência de precipitação e, do ponto de vista meteorológico, é uma estiagem prolongada que tem como principal característica a diminuição contínua das reservas hídricas (CASTRO *et al.*, 2003). Apesar de secas e estiagens serem originárias do déficit de precipitação, a estiagem, segundo Castro *et al.* (2003), é caracterizada pelo atraso no início da estação chuvosa por um período superior a 15 dias, além de apresentar, nos meses chuvosos, precipitações médias mensais inferiores a 60% para o período.

Segundo Heim (2002), as secas são classificadas de acordo com os seus impactos, podendo ser divididas em quatro diferentes categorias: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica e, apesar dessa classificação, é importante destacar que todas são originárias do déficit de precipitação (WILHITE, 2003). A seca meteorológica está associada ao déficit de precipitação, notadamente com valores abaixo da normal climatológica (HEIM, 2002). Por outro lado, segundo a WMO (1975), a seca agrícola está relacionada à baixa disponibilidade de umidade no solo, que torna o suprimento de água às culturas insuficientes para repor as perdas por evapotranspiração. Geralmente a seca agrícola se manifesta após a seca meteorológica e antes da seca hidrológica, que está associada a períodos mais longos de déficit de precipitação. No caso da seca hidrológica, existe forte relação com a redução dos níveis médios de água em reservatórios, tanto de superfícies quanto subterrâneos, além de refletir efeitos econômicos, afetar o abastecimento humano, a dessedentação de animais, o fornecimento de energia hidrelétrica e a irrigação (GANGULI; REDDY, 2013).

Além disso, a seca é considerada desastre natural quando atinge áreas habitadas, sendo responsável por prejuízos socioeconômicos, danos materiais e humanos, inclusive óbitos. Os impactos tornam-se maiores quando a economia local tem forte ligação com as atividades da agropecuária, que dependendo do tamanho da cultura, da necessidade de irrigação e do seu grau de importância à economia local, o dano poderá se tornar catastrófico (CEPED UFSC, 2013).

Ao contrário dos casos relacionados às precipitações extremas, a seca tem, quase sempre, um início lento e uma longa duração. Segundo Suassuna (1999), os efeitos da seca vão se acumulando lentamente ao longo de um período considerável de tempo, podendo perdurar anos após a finalização do evento. Portanto, apesar de ocorrer de forma lenta, o fenômeno da seca gera grandes impactos, com graves danos econômicos e sociais (FERNANDES *et al.*, 2009).

Além disso, esse fenômeno pode ser notado de maneiras diferentes em regiões com características climáticas distintas e com diferentes níveis de utilização de água, o que contribui de forma negativa para uma definição de seca que seja aceita universalmente. Por outro lado, o fato de não existir um conceito universal para definir a seca, possibilita que as definições sejam dependentes da temática de abordagem (REDMOND, 2002).

No Brasil, as secas se manifestam com maior frequência e intensidade na região Nordeste, onde se registram os impactos mais acentuados. Todavia, elas também ocorrem em outras regiões do país, mesmo apresentando características muito diferentes, pois a vulnerabilidade social e econômica na região Nordeste é maior (MAGALHÃES, 2016).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil, 2017b), no período de 2013 a 2016 as secas e estiagens afetaram 48 milhões de pessoas, com destaque para o ano de 2016 como o mais crítico no que se refere aos impactos sobre a população. Esses impactos, apesar de serem mais associados ao Nordeste do Brasil, também são sentidos em outras localidades, como por exemplo na região Sudeste, que no período de 2014 a 2015 enfrentou uma grave crise hídrica em que a redução nos níveis dos reservatórios passou a ameaçar o abastecimento das principais metrópoles dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro (SILVA, 2015). Além disso, a severidade dessa estiagem, afetou diretamente a disponibilidade hídrica do rio Paraíba do Sul e do rio Guandu, com a necessidade de sucessivas reduções da vazão objetivo em Santa Cecília e da vazão transposta do rio Guandu. Vale destacar também que em fevereiro de 2014, as aflúências médias observadas na bacia se configuravam como as menores já registradas (COSTA *et al.*, 2015).

Em um estudo realizado para a caracterização da seca na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Santana (2020), encontrou 34 casos registrados entre estiagem e seca na bacia para o período de 2002 a 2016. A Tabela 2 mostra o número de eventos separados por ano e estado de ocorrência. Esses dados foram retirados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) que integra diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Santana (2020) considerou para o levantamento, os seguintes documentos: Avaliação de Danos (AVADAN), Formulário de Informações sobre Desastres (FIDE), Notificação Preliminar de Desastres (NOPRED), Relatórios de Danos, Portaria e Decreto.

Na Tabela 2, pode-se constatar que a maioria dos registros oficiais estão relacionados a estiagem, como pode ser observado nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, com 13 e 17 municípios com registros, respectivamente. Em Minas Gerais, destaca-se que dos 13 registros oficiais de estiagem, 10 ocorreram em 2015. Dos desastres relativos ao fenômeno de seca, Santana (2020) só encontrou, no S2ID, 2 eventos oficiais em Minas Gerais e 1 no estado do Rio de Janeiro. Segundo Santos e Santos (2020), esse registro do Rio de Janeiro foi publicado no Diário Oficial da União em 4

de maio de 2010, onde foi reconhecido situação de emergência em um município localizado na região Norte Fluminense (São Francisco de Itabapoana).

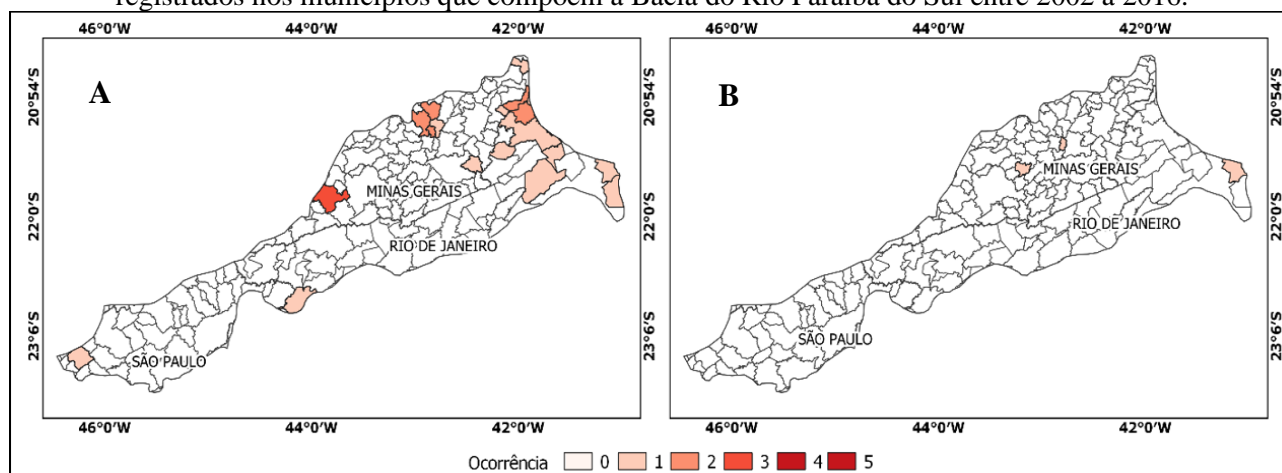
Tabela 2 – Número de ocorrência de estiagem e seca, obtidos no S2ID registrados nos municípios que compõem a Bacia do Rio Paraíba do Sul entre 2002 a 2016.

Ano	Eventos						Total
	Estiagem			Seca			
	RJ	MG	SP	RJ	MG	SP	
2002		1					1
2007	1	1			1		3
2010	3			1			4
2014	5	1	1		1		8
2015	4	10					14
2016	4						4
Total	17	13	1	1	2		34

Fonte dos dados: S2ID (2020). Adaptado de Santana (2020).

Na Figura 5 é mostrada a distribuição espacial dos registros oficiais de estiagem e seca apresentados na Tabela 2. Desses registros, observa-se que a maior parte ocorreu na porção norte da bacia, no entanto, o maior número de eventos foi registrado no município de Bom Jesus de Itabapoana com 5 registros de estiagem.

Figura 6 – Distribuição espacial do número de ocorrências de estiagem (a) e seca (b), obtidos no S2ID, registrados nos municípios que compõem a Bacia do Rio Paraíba do Sul entre 2002 a 2016.



Fonte: Santana (2020).

De acordo com Marengo *et al.* (2015), de maneira geral, os prejuízos resultantes da ocorrência desses eventos são sentidos tanto no setor público quanto no privado. Para o setor público, ocorre a dificuldade na manutenção de serviços básicos devido à ausência da garantia de abastecimento de água potável. Já no setor privado ocorre a queda na produção, principalmente nas atividades com maior dependência do uso da água.

4. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma revisão teórica referente a precipitação e seus extremos na Bacia do Rio Paraíba do Sul, incluindo os principais sistemas atmosféricos atuantes na região, bem como os impactos causados pela ocorrência dos extremos.

É possível destacar que, de forma geral, os menores totais pluviométricos são observados na região norte da bacia e os maiores valores são registrados na divisa dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro com o de Minas Gerais. Desses totais, a maior parte ocorre no verão, que é o período chuvoso da região e estão associados, na maioria dos casos, à penetração de Frente Fria e ao estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Por outro lado, os baixos totais pluviométricos na região Sudeste ocorrem no inverno e, geralmente, estão associados ao comportamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis.

No que se refere aos danos causados pela ocorrência de eventos extremos de precipitação (déficit ou excesso), pode-se destacar aqui, tanto danos financeiros quanto materiais e humanos. Esses danos podem, a depender do planejamento da gestão dos recursos hídricos e da política de diminuição da vulnerabilidade das comunidades de risco aos desastres naturais, continuar ocorrendo de forma catastrófica ou, ter os seus impactos sobre a população minimizados.

Essas informações reforçam a importância de se conhecer os sistemas atuantes na região para que se possa planejar e realizar ações que visem diminuir os danos resultantes da ocorrência de eventos extremos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. A. **Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul.** Revista Agrogeoambiental, v. 4, n.2, 2012. doi.org/10.18406/2316-1817v4n22012452

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAMARGO JR., H.; CASTRO, C. **Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil:** Parte 1 – Estudos observacionais. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/05.09.18.30/doc/v1.pdf>

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. **Início das chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. Anais [...] p. 1403-1410. 2002. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/04.11.16.37/doc/Alves_Inicio%20das%20chuvas.pdf

ANDRADE, K. M.; PINHEIRO, H. R. **Simulação de eventos extremos de precipitação na Região Serrana do Rio de Janeiro no clima presente e futuro utilizando o modelo ETA-HADCM3.** Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa-PB. Anais [...] 2011. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/11.16.13.26/doc/Andrade%3B%20Pinheiro-%20Simula%E7%E3o%20de%20Eventos.PDF>

BRASIL, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:** relatório pleno/ Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017b. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima.** Ministério do Meio Ambiente/ Ministério da Integração Nacional, WWF-Brasil. Brasília, DF: MMA, 2017a. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/copy_of_mudancas_climaticas2_20062017_1938/

BRASILIENSE, C. S.; DEREZYNSKI, C. P.; SATYAMURTY, P.; CHOU, S. C.; CALADO, R. N. **Climatologias da Temperatura do Ar e da Precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Região**

Sudeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências, v. 43(1). P. 355-365, 2020. [/doi.org/10.11137/2020_1_355_365](https://doi.org/10.11137/2020_1_355_365)

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. **Zona de Convergência do Atlântico Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (eds.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo, Oficina de Textos, p. 95-109, 2009.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall.** Journal of Climate, v. 17, p. 88-108, 2004. [doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2)

CASTRO, A. L. C.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. C. **Manual de Desastres: desastres naturais.** Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174p.

CAVALCANTI, I. F. A., KOUSKY, V. E. **Frentes Frias sobre o Brasil.** In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J., JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos. Cap. 9, p. 133-147, 2009.

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012:** volume Rio de Janeiro. Florianópolis. 2013a. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010:** volume Brasil. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis. p. 94, 2013b. Disponível em: https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS_mioloWEB.pdf

COSTA, L. F.; JUNIOR, J. E. F. F.; JOHNSON, R. M. F.; ACSELRAD, M. V. **Enfrentando a Estiagem da Bacia do Rio Paraíba Do Sul.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21: anais. Brasília: ABRH, 2015. Disponível em: <http://eventos.abrh.org.br/xxisbrh/#>

CPTEC /INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Síntese sinótica do mês de março de 2020.** 2020b. Disponível em: https://s1.cptec.inpe.br/admingpt/tempo/pdf/sintese_032020.pdf.

CPTEC /INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Imagem.** 2020a. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>.

DERECZYNSKI, C. P.; MENEZES, W. F. **Meteorologia da Bacia de Campos.** In: Martins, R.P., Grossmann-Matheson, G.S., editores. Meteorologia e Oceanografia. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 2. p. 1-54, 2015. doi.org/10.1016/B978-85-352-6208-7.50008-8

DOXSEY J. R.; DE RIZ, J. **Metodologia da pesquisa científica.** ESAB – Escola Superior Aberta do Brasil, 2002-2003. Apostila. Disponível em: https://cafarufrij.files.wordpress.com/2009/05/metodologia_pesquisa_cientifica.pdf.

EDMOND, K. T. **The Depiction of Drought: a Commentary.** Bulletin of the American Meteorological Society, v.83, p.1143-1147, 2002. doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1143

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional:** ano base 2018. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. A.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. L.; CARDOSO, A. S. **Índices para a quantificação da seca.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244), 45 p. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/663874/1/doc244.pdf>

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. **Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. **O clima da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais:** subsídios para a gestão de recursos hídricos. Revista Brasileira de Geografia Física, 5(2), 302-319, 2012. doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232805

G1. **Moradores de Friburgo afetados pela chuva há 1 ano temem nova tragédia.** 2012 Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2012/01/moradores-de-friburgo-afetados-pela-chuva-ha-1-ano-temem-nova-tragedia.html>.

G1. **Chega a 6 mil o número de desalojados ou desabrigados em enchentes no Norte e Noroeste do RJ.** Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/norte-fluminense/noticia/2020/01/25/cidades-do-norte-e-noroeste-do-rio-ficam-inundadas-apos-chuva-forte-e-cheia-dos-rios.ghtml>.

G1. **Sobrevivente que perdeu 7 familiares no desastre na Serra do RJ relembra 10 anos da maior tragédia climática do Brasil.** Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/sobrevivente-que-perdeu-7-familiares-na-tragedia-na-serra-do-rj-relembra-10-anos-da-maior-tragedia-climatica-do-brasil.ghtml>.

G1. **Passa de 900 o número de mortos na Região Serrana após chuvas.** 2011. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/chuvas-no-rj/noticia/2011/02/passa-de-900-o-numero-de-mortos-na-regiao-serrana-apos-chuvas.html>.

GALVÃO, J.; BERMAN, C. **Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas.** Estudos avançados, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

GAN, A. M., KOUSKY, E. V., ROPELEWSKI, F. C. **The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil.** American Meteorological Society, v. 17, p. 47-66, 2004. doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2

GANGULI, P.; REDDY, M. J. **Evaluation of trends and multivariate frequency analysis of droughts in three meteorological subdivisions of western India.** International Journal Of Climatology, v. 34, n. 3, p.911-928, 2013. doi.org/10.1002/joc.3742

Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

Gil, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf.

HEIM, R. R. **A review of twentieth-century drought indices used in the United States.** Bulletin of the American Meteorology Society, v.83, p.1149-1163, 2002. doi.org/10.1175/1520-0477-83.8.1149

IORIS, A. A. R. **Os limites políticos de uma reforma incompleta: a implementação da Lei dos Recursos Hídricos na Bacia do Paraíba do Sul.** Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 10, n. 1, p. 61-85, 2011.

IPCC. Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC (p. 535) 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg1_spmportuguese.pdf.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. **Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.40, n.4, p.311–322, 2005. doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400001

KODAMA, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones**. Journal of Meteorological Society of Japan, v. 70, n.4, p. 813-835, 1992. doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813

KOUSKY, V. E. **Frontal influences on Northeast Brazil**. *Monthly Weather Review*. v. 107, p. 1140-1153, 1979. doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1140:FIONB>2.0.CO;2

KOUSKY, V. E. **Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector**. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 3(1): 217–231, 1988. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.5776&rep=rep1&type=pdf>

LIEBMANN, B.; KILADS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. **Submonthly convective variability over South America and South Atlantic Convergence Zone**. *Journal of Climate*, v. 12, p. 1877-1891, 1999. doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1877:SCVOSA>2.0.CO;2

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. **Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brasil**. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, n. 1- 2, p. 121-135, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-009-0207-9>

MAGALHÃES, A. Vida e seca no Brasil. In: DE NYS, E.; ENGLE, N.L.; MAGALHÃES, A.R. (orgs.). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/seca_brasil-web.pdf.

MARENGO, J. A; HASTENRATH, S. **Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin**. *Journal of Climate*, v. 6, n. 4, p. 617-627, abr. 1993. doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<0617:CSOECE>2.0.CO;2

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. **Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, 20(2): 215-226, 2005. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mtez/~edisp/inea0113198.pdf>

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. 2015. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. Revista USP, 106: 31-44. doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44

MINUZZI, R.; SEDIYAMA, G.; BARBOSA, E.; MELO-JÚNIOR, J. C. **Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.22, n.3, p.338-344, 2007. doi.org/10.1590/S0102-77862007000300007

NIMER, E., 1989. **Climatologia do Brasil**. DERMA/IBGE. 2ª ed., Rio de Janeiro, 422 p. 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>.

NOBRE, C. A. **Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul**: a importância do oceano Atlântico. Revista Climanálise, v. 3, n. 4, p. 30-33, abr. 1988. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0102-7786201600080042800102&lng=en

NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K. C. **Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer**. Monthly Weather Review, v. 125, p. 279-291, 1997. Doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<0279:AWADCO>2.0.CO;2

PEREIRA, F. A.; PENHA, T. V.; MINUZZI, R. B.; LIMA, E. de P. **Variabilidade climática da precipitação em regiões de diferentes altitudes no estado do Rio De Janeiro**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 15, Vitória, ES, 2013. Anais [...] Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens. Vitória, ES: Departamento de geografia, CCHN, UFES, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/963086>.

QUADRO, M. F. DE L. **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, 1994.

QUADRO, M. F. L. DIAS, M. A. F. S.; HERDIES, D. L.; GONCALVES, L. G. G. **Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.2, 152 - 162, 2012. Doi.org/10.1590/S0102-77862012000200004

QUADRO, M. F. L. et al. **Climatologia da Precipitação e Temperatura**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. Revista Climanálise, 2019 Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/cliesp10a/chuesp.html>.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. **Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 - 204, 2010. doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004

REDMOND, K. T. **The depiction of drought: a commentary**. Bulletin of the American Meteorological Society, v.83, p.1143-1147, 2002.

SANTANA, G. R. A. **Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Clima Água e Energia). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Meteorologia, Macaé. 37f, 2020. Disponível em: https://193364f0-cace-4c28-80b5-6efac6d4cbe1.filesusr.com/ugd/3c9787_0fa17f378fc942ccbebeceb3d2a2eab9e.pdf

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B: DA SILVA, M. G. A. J. **Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJI, v. 43, n 4, p. 364-375, 2020. doi.org/10.11137/2020_4_364_375

SANTOS, G. D. R. N.; SANTOS, E. B. **Análise das Secas nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJI, v. 43, n 4, p. 1-10, 2020. doi.org/10.11137/2020_4_1_10

SILVA, C. A. M. D. **Os Desastres no Rio de Janeiro: Conceitos e Dados**. Rio de Janeiro: Cadernos do Desenvolvimento Fluminense, p. 55-71, 2015.

SUASSUNA, J. Fundação Joaquim Nabuco. **Uma Metodologia para a Preparação do Combate aos Efeitos da Seca**. Recife/ PE, 1999.

VIANELLO L. R.; ALVES A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, p. 1-446, 1991.

WILHITE, D. A. Drought. In: Holton, J. A.; Pyle, C.; Curry, J. A. (Ed.). **Encyclopedia of atmospheric science**. New York: Elsevier, p.650-658, 2003.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Drought and agriculture**. Geneva, Switzerland: WMO, 1975. 127 p. (Tech. Note 138, Publ. WMO392).

YNOUE, R. Y.; REBOITA M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. **Meteorologia: Noções Básicas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2017.

ZHOU, J.; LAU, K. M. **Does a monsoon climate exist over South America?** Journal of Climate, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS SECOS E CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

CHARACTERIZATION OF DRY AND RAINY EVENTS IN THE PARAÍBA DO SUL HYDROGRAPHIC BASIN

Gildo Rafael de Almeida Santana - IFFluminense/PPEA

Eliane Barbosa Santos - UENF/LAMET

Maria Gertrudes A. Justi da Silva - UENF/LAMET

Vicente de Paulo Santos de Oliveira- IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior -IFFluminense/PPEA

RESUMO

Os eventos extremos de precipitação (déficit e excesso) vêm causando grandes prejuízos sociais e econômicos às regiões atingidas. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho foi estudar e caracterizar os eventos secos e chuvosos (déficit e excesso de precipitação) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Para isso, foram utilizados dados de precipitação de 88 postos pluviométricos da rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), referentes ao período de 1970 a 2018. Os eventos secos e chuvosos foram caracterizados pelo Índice de Precipitação Padronizado (SPI), na escala de tempo de 12 meses. Para detectar tendências estatisticamente significativas, utilizou-se o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall. A magnitude das tendências foi obtida pelo estimador de Sen. A partir das séries temporais do SPI-12, identificou-se que os eventos de déficit e excesso de precipitação mais severos e de maior abrangência espacial, ocorridos entre 1970 a 2018, foram registrados em 2014 (73,0% da área) e 1983 (77,5% da área), respectivamente. Com relação a localização exata (área) da bacia atingida por cada um dos eventos mais severos e de maior abrangência espacial, destaca-se a região norte da bacia por ser a mais atingida pelos eventos secos. Na análise de tendência, de modo geral, os resultados obtidos sinalizam que o regime pluviométrico na Bacia do Rio Paraíba do Sul vem sofrendo alterações locais, com tendência significativa (ao nível de confiança de 95%) positiva em 5 postos pluviométricos e negativa

em 6 postos, indicando que em algumas regiões os totais de precipitação vêm diminuindo e em outras vêm aumentando.

Palavras chave: Índice de Precipitação Padronizado, Variabilidade Espaço-Temporal, Tendência Climática.

ABSTRACT

Extreme rainfall events (deficit and excess) have been causing great social and economic damage to the affected regions. In this sense, the main objective of this work was to study and characterize the dry and rainy events (deficit and excess of precipitation) in the Paraíba do Sul River Basin. National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), referring to the period from 1970 to 2018. Dry and rainy events were characterized by the Standardized Precipitation Index (SPI), in the 12-month time scale. To detect statistically significant trends, the Mann-Kendall non-parametric statistical test was used. The magnitude of the trends was obtained by the estimator of Sen. From the SPI-12 time series, it was identified that the most severe deficit and excess precipitation events, occurring between 1970 and 2018, were recorded in 2014 (73.0% of the area) and 1983 (77.5% of the area), respectively. With regard to the exact location (area) of the basin affected by each of the most severe events and with the greatest spatial coverage, the northern region of the basin stands out for being the most affected by dry events. In the trend analysis, in general, the results obtained indicate that the rainfall regime in the Paraíba do Sul River Basin has undergone local changes, with a significant trend (at the 95% confidence level) positive in 5 pluviometric stations and negative in 6 ranks, indicating that in some regions total precipitation has been decreasing and in others it has been increasing.

Keywords: *Standardized Precipitation Index. Space-Time Variability. Climate Trend.*

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos principais elementos climáticos na região tropical. Além de influenciar no comportamento de outros elementos climáticos como temperatura do ar e umidade relativa do ar, a precipitação é a que melhor caracteriza a variabilidade climática da região (MARENGO; HASTENRATH, 1993). Sua variabilidade espacial e temporal, é modulada por sistemas meteorológicos em diferentes escalas de tempo. As características climáticas são moduladas, também, por mecanismos de interação na interface oceano-atmosfera, que podem promover totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica (CARDOSO; SILVA DIAS, 2004; CARVALHO *et al.*, 2004; MINUZZI *et al.*, 2007).

São muitos os fatores que podem favorecer os eventos extremos de precipitação (excesso ou déficit) e, geralmente, esses eventos causam prejuízos a diversos setores socioeconômicos, bem como transtornos à população em geral. Portanto, o conhecimento das características da precipitação é de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento de diversas atividades humanas como, por exemplo, na gestão de recursos hídricos de modo a garantir a efetividade dos usos múltiplos.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), para o período de 1991 a 2012, a maioria (81%) das ocorrências de desastres na região Sudeste do Brasil têm relação com eventos de déficit e excesso de precipitação, sendo 31% para estiagens e secas, 30% para enxurradas, e 20% para inundações. No caso de eventos de precipitação intensa, a depender da região em que ocorre, os danos podem ser catastróficos, como o ocorrido em janeiro de 2011 na região serrana do estado do Rio de Janeiro.

Por outro lado, os déficits de precipitação, dependendo da sua magnitude, também são responsáveis por impactos social, econômico e ambiental, pois ao provocar a redução nos níveis dos reservatórios, compromete diretamente o abastecimento de água e a produção de energia elétrica que, no Brasil, a maior parte (66,6%) é proveniente da geração de energia hidrelétrica (EPE, 2019). Nos últimos anos, esses eventos cresceram na região Sudeste do país, onde a falta de chuva, a partir do ano de 2014, passou a ameaçar, por exemplo, o abastecimento das principais metrópoles do estado de São Paulo. A redução nos reservatórios também afetou o abastecimento de água na região metropolitana do Rio de Janeiro (SILVA, 2015). Segundo Coelho *et al.* (2016a), a região Sudeste vem sofrendo com déficit de precipitação desde o final da década de 90, porém a anomalia observada no verão de 2013/2014 foi a de maior magnitude, quando comparada com outros verões desde 1961/1962.

Vale ressaltar que, com o crescimento desordenado de grandes cidades brasileiras os eventos extremos de precipitação podem trazer grandes impactos para suas populações, principalmente as mais

vulneráveis (LOUREIRO *et al.*, 2014). Os impactos causados por esses eventos têm forte relação com uma maior exposição da população a riscos diversos, corroborando para que as situações de vulnerabilidade se tornem cada vez mais recorrente.

Em particular, a Bacia do Rio Paraíba do Sul tem sido palco para a implantação de uma série de aproveitamentos de usos múltiplos da água, visando à regularização de vazões, o controle de cheias e à geração de energia elétrica (MARENGO; ALVES, 2005). Somado a isso, a bacia representa a garantia de que as atuais e futuras gerações possam ter suas necessidades atendidas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar e caracterizar os eventos secos e chuvosos (déficit e excesso de precipitação) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção será apresentada de forma sucinta a caracterização da área de estudo e os métodos utilizados para a análise dos dados.

2.1 Caracterização da Área de Estudo

Localizada em uma das regiões industriais mais desenvolvidas do país, no Sudeste do Brasil, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul está situada em uma das poucas regiões brasileiras que apresentam relevo muito acidentado, de colinoso a montanhoso, ultrapassando os 2.000 metros nos pontos mais elevados (MARENGO; ALVES, 2005). Sua área de drenagem é de aproximadamente 61.307 km²: São Paulo (13.934 km²), Rio de Janeiro (26.674 km²) e Minas Gerais (20.699 km²) (CEIVAP, 2018).

Utilizada para fins domésticos e industriais, inclusive como receptor de efluentes, as águas do rio Paraíba do Sul abastecem cerca de 18,5 milhões de pessoas (87% delas residentes de áreas urbanas), dessas, cerca de 13 milhões estão na região metropolitana do Rio de Janeiro (Inea, 2018) e são beneficiadas por meio da transposição do rio Piraí para o rio Guandu, realizada na Usina Elevatória de Santa Cecília em Barra do Piraí (CEIVAP, 2018). Além disso, cerca de 120 usinas hidrelétricas estão em operação na bacia, entre grandes, médias e pequenas geradoras (IORIS, 2011).

Segundo Marengo e Alves (2005), o clima da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul é caracterizado como subtropical quente, em que a sua temperatura média anual varia entre 18°C e 24°C. A precipitação média anual na bacia, apresenta valores que variam entre 900 e 2700 mm, sendo as máximas precipitações, com valores maiores que 1800 mm registradas nas cabeceiras mineiras da

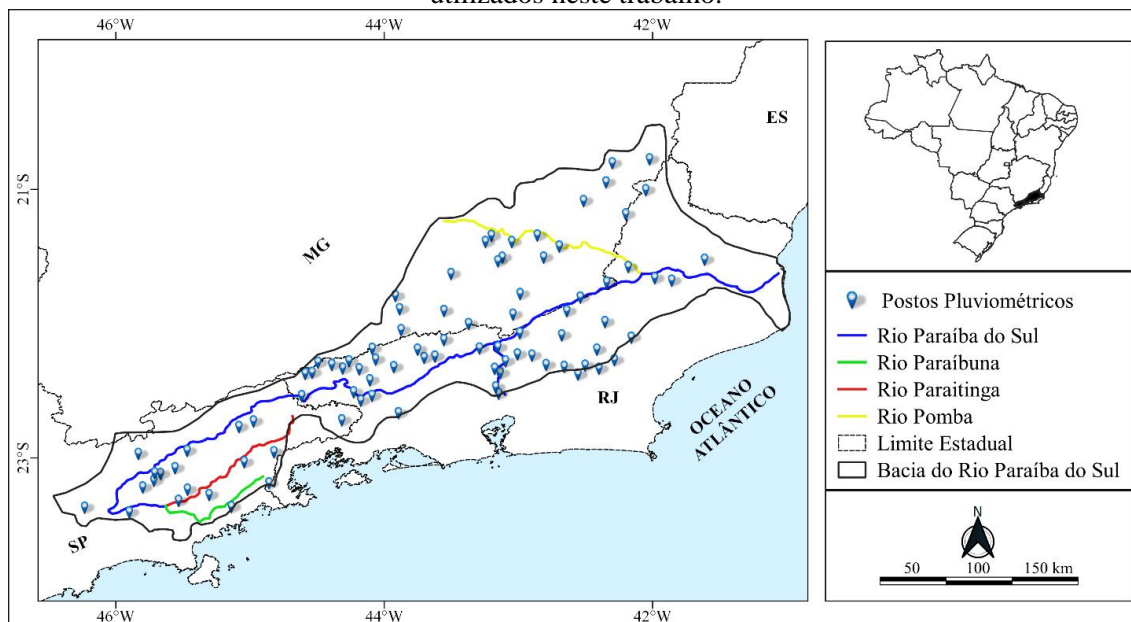
bacia e nos pontos mais altos das serras do Mar e Mantiqueira, com altitudes maiores que 1000 metros (MARENGO; ALVES 2005; BRASILIENSE *et al.*, 2020; SANTANA *et al.*, 2020).

2.2 Dados

Neste estudo foram utilizados dados diários de precipitação da rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Após a verificação da qualidade dos dados, foram selecionados 88 postos pluviométricos com dados consistentes de 1970 a 2018. Esses postos pluviométricos apresentam, para o período de 1970 a 2018, um percentual de falhas igual ou inferior a 10%. Para o cálculo do acumulado mensal, foi descartado o mês que apresentou algum valor diário faltante, seguindo recomendação da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1989).

Na Figura 1 é mostrado que os postos pluviométricos selecionados e como eles estão relativamente bem distribuídos espacialmente. Para a delimitação da região de estudo foram utilizados os arquivos vetoriais (shapefile) disponibilizados pela ANA.

Figura 1 – Bacia do Rio Paraíba do Sul, seus principais rios e a localização dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

2.3 Índice de Precipitação Padronizada

Para identificar os eventos secos e chuvosos na região de estudo, foi utilizado o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index* - SPI), índice comumente utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excesso de chuva (CAPRA *et al.*, 2013; DU *et al.*, 2013; JENKINS; WARREN, 2015; TAO *et al.*, 2016; SANTANA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021)

O SPI foi desenvolvido por McKee *et al.* (1993, 1995) e quantifica o déficit ou excesso de precipitação em diferentes escalas temporais (1, 3, 6, e 12 meses). Apresenta a grande vantagem de padronizar a análise, permitindo que se compare regiões totalmente diferentes, com características climáticas distintas.

Neste trabalho, o SPI foi calculado na escala de tempo de 12 meses (SPI-12), que reflete o impacto da precipitação nos fluxos dos rios e nos reservatórios. O cálculo do SPI inicia-se com a determinação da distribuição de probabilidades de precipitação, a qual é ajustada por meio da distribuição gama e, posteriormente, transformada em uma distribuição normal que, por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária (EDWARDS; MCKEE, 1997; WU *et al.*, 2005).

A função de densidade de probabilidade é definida por (THOM, 1966):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

onde: $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma, $\beta > 0$ parâmetro de escala, $x > 0$ é o total de precipitação e $\Gamma(\alpha)$ é a função Gama.

A função gama é definida como:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Os parâmetros α e β foram estimados por meio da estimativa de máxima verossimilhança usando a aproximação de Thom (1958; 1966):

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

sendo: \bar{x} o valor médio dos dados de precipitação para n observações, e A é definido por:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5)$$

Os parâmetros de forma e de escala foram utilizados para encontrar a probabilidade cumulativa $G(x)$ de um evento de precipitação observado, dada por (EDWARDS; MCKEE, 1997):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (6)$$

A função Gama $\Gamma(\alpha)$ não é definida em $x = 0$, mas como a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa é dada pela seguinte expressão:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (7)$$

sendo: $H(x)$ a distribuição da probabilidade cumulativa, $G(x)$ a distribuição cumulativa teórica e q é a probabilidade de ocorrer zero, em que $q = \frac{m}{n}$, onde m é o número de zeros da série temporal de precipitação e n é o número de observações da série.

O valor $H(x)$ é transformado em uma variável normal que resulta no valor do SPI (EDWARDS; MCKEE, 1997), definido por (ABRAMOWITZ; STEGUN, 1965):

$$SPI = \begin{cases} - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), & 0 < H(x) \leq 0,5 \\ + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), & 0,5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad (8)$$

onde: $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ são constantes. $c_0 = 2,51551$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$, e t é dado por:

$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]}, & 0 < H(x) \leq 0,5 \\ \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]}, & 0,5 < H(x) < 1 \end{cases} \quad (9)$$

A classificação dos eventos foi feita de acordo com os limites propostos por Mckee *et al.* (1993), de modo que o evento seco se inicia quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor “-1”, e o evento úmido se inicia quando o SPI torna-se positivo e atinge o valor “+1”, conforme classificação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores do SPI e categorias de períodos secos ou períodos úmidos.

SPI	Categorias
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
-0,99 a 0,99	Normal
-1,49 a -1,00	Moderadamente seco
-1,99 a -1,50	Muito seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

2.3.2 Análise de Tendência

O teste estatístico não paramétrico Mann-Kendall (MANN 1945; KENDALL 1975) foi usado para detectar tendências estatisticamente significativas nas séries temporais de precipitação anual (1970 - 2018). Dada uma série temporal X_1, X_2, \dots, X_n , no teste de Mann-Kendall, deseja-se testar a hipótese nula (H_0), de inexistência de tendência, ou seja, as observações X_n são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese alternativa (H_1), em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução.

A estatística do teste é determinada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (10)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_k) \quad (11)$$

onde: n o número de observações e x_j e x_k são valores sequenciais. Já o $\text{sinal}(x_j - x_k)$ é obtido por meio da equação:

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Segundo Kendall (1975), S é normalmente distribuída, ou seja, $S \sim N(\mu, \sigma^2)$ com média $\mu = 0$ e variância σ^2 dado por:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (13)$$

onde: n é o número de observações, p é o número de grupos com observações iguais e t_j representa o número de observações iguais no grupo j .

Para um certo nível de significância α , em um teste bilateral, não rejeitamos a hipótese nula (H_0) do teste de Mann-Kendall se para o quantil $Z_{\alpha/2}$ de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$. Neste estudo, foi utilizado o nível de significância α igual a 5%.

Para estimar a magnitude da tendência, foi utilizado o estimador de Sen (SEN, 1968). Para isso, primeiro calculam-se todos os declives entre cada par de variáveis j e k :

$$T_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ com } j > k, \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (14)$$

onde X_j e X_k representam os valores da variável em estudo nos anos j e k .

O valor positivo ou negativo para T_i indica tendência crescente ou decrescente, respectivamente. Se há n valores na série analisada, então existe $N = n(n-1)/2$ estimativas para a tendência T_i . O estimador de declive de Sen é a mediana dos N valores de T_i .

2.3.3 Interpolação

Para análise espacial dos dados, foi utilizado o método de interpolação inverso do quadrado da distância, dado por:

$$x_p = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^2} \cdot x_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^2} \right)} \quad (15)$$

em que: x_p é a variável interpolada; x_i é o valor da variável da i -ésima localidade vizinha; n é o número de amostras e d_{ij} é a distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e a amostra j , como descrito por Camargo *et al.* (2004):

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (16)$$

Neste estudo, a resolução da malha (linhas x colunas) para o domínio espacial amostral foi de aproximadamente 1 *km* (latitude) x 1,8 *km* (longitude).

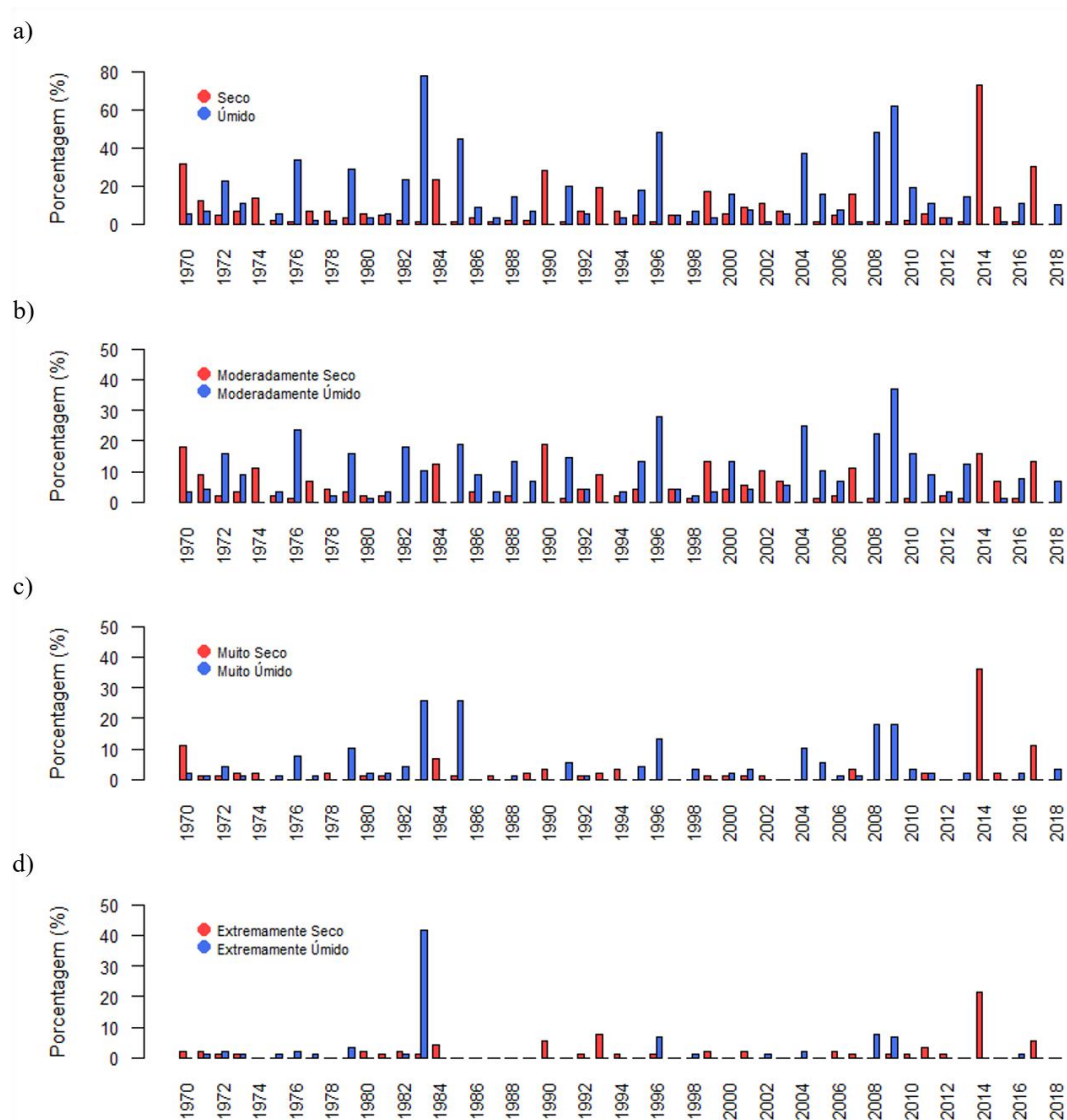
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 é mostrada a porcentagem de área da Bacia do Rio Paraíba do Sul afetada por eventos secos ($SPI \leq -1,00$) e úmidos ($SPI \geq 1,00$) identificados pelos valores do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro). Em relação aos eventos secos ($SPI \leq -1,00$), observa-se que o evento com maior cobertura espacial foi registrado em 2014, que atingiu aproximadamente 73% (65 postos pluviométricos) da área, com eventos considerados moderadamente seco (15,7% da área), muito seco (36,0% da área) e extremamente seco (21,3% da área). A segunda maior porcentagem de área afetada por eventos secos ($SPI \leq -1,00$) foi registrada em 1970, com um percentual de 31,5% (28 postos pluviométricos), seguido pelos anos de 2017 (30,3% da área), 1990 (28,1% da área) e 1984 (23,6% da área).

Segundo Coelho *et al.* (2016a) os déficits de precipitação observados em 2014, no Sudeste do Brasil, foram expressivos, com acumulados de 439 mm de dezembro de 2013 a março de 2014 na região sudeste do estado de São Paulo. De acordo com Luiz-Silva *et al.* (2015), no mês de fevereiro de 2014, que a média climatológica é em torno de 180 a 220 mm no Sudeste do Brasil, o total precipitado não passou de 50 mm na maior parte dessa área.

Em relação aos eventos úmidos ($SPI \geq 1,00$), os anos que apresentaram maior cobertura espacial foram (Figura 2): 1983 (77,5% da área), 2009 (61,8% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 1985 (44,9% da área). Desses eventos, o ano de 1983 destaca-se por ser o evento com maior cobertura espacial (77,5% da área) e por apresentar maior porcentagem (41,6%) de área afetada com eventos considerados extremamente úmido (Figura 2d).

Figura 2 – Porcentagem de área da Bacia do Rio Paraíba do Sul afetada por eventos secos e úmidos identificados pelos valores do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro): a) Total de eventos secos e úmidos, b) Eventos moderadamente seco e moderadamente úmido, c) Eventos muito seco e muito úmido, e d) Eventos extremamente seco e extremamente úmido.



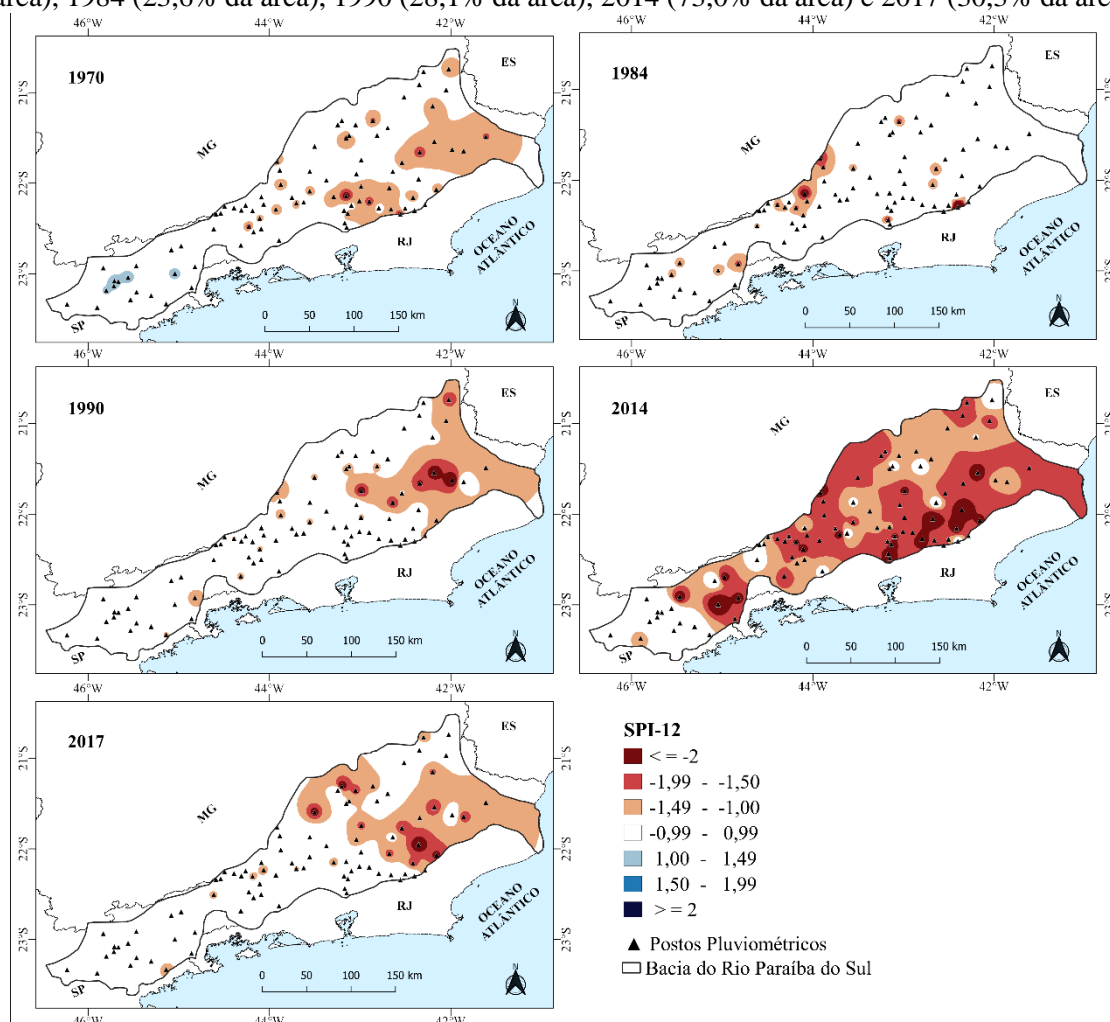
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 3 é mostrado o comportamento espacial do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) nos anos correspondentes às secas que atingiram as maiores áreas ao longo do período considerado (1970 a 2018). Nota-se que a região norte da bacia foi a mais atingida pelos eventos secos ($SPI \leq -1,00$). As secas de 1970, 1990 e 2017 apresentaram comportamento semelhante, porém a seca de 1970 foi menos intensa. Dos 5 eventos secos (1970, 1984, 1990, 2014 e 2017) de maior abrangência espacial, a seca de 1984 foi o de menor área atingida e a de 2014 a de maior área atingida.

Em relação a intensidade dos eventos, o ano de 2014 também foi o mais intenso, onde 57,3% da área da Bacia do Rio Paraíba do Sul apresentou eventos muito seco ($-1,50 \geq SPI \geq -1,99$) e

extremamente seco ($SPI \leq -2,00$). Observa-se, também na Figura 3, que a região fluminense foi a que apresentou maior quantidade de núcleos com eventos extremamente seco ($SPI \leq -2,00$).

Figura 3 – Abrangência espacial da intensidade do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) para os eventos secos ($SPI \leq -1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1970 (31,5% da área), 1984 (23,6% da área), 1990 (28,1% da área), 2014 (73,0% da área) e 2017 (30,3% da área).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

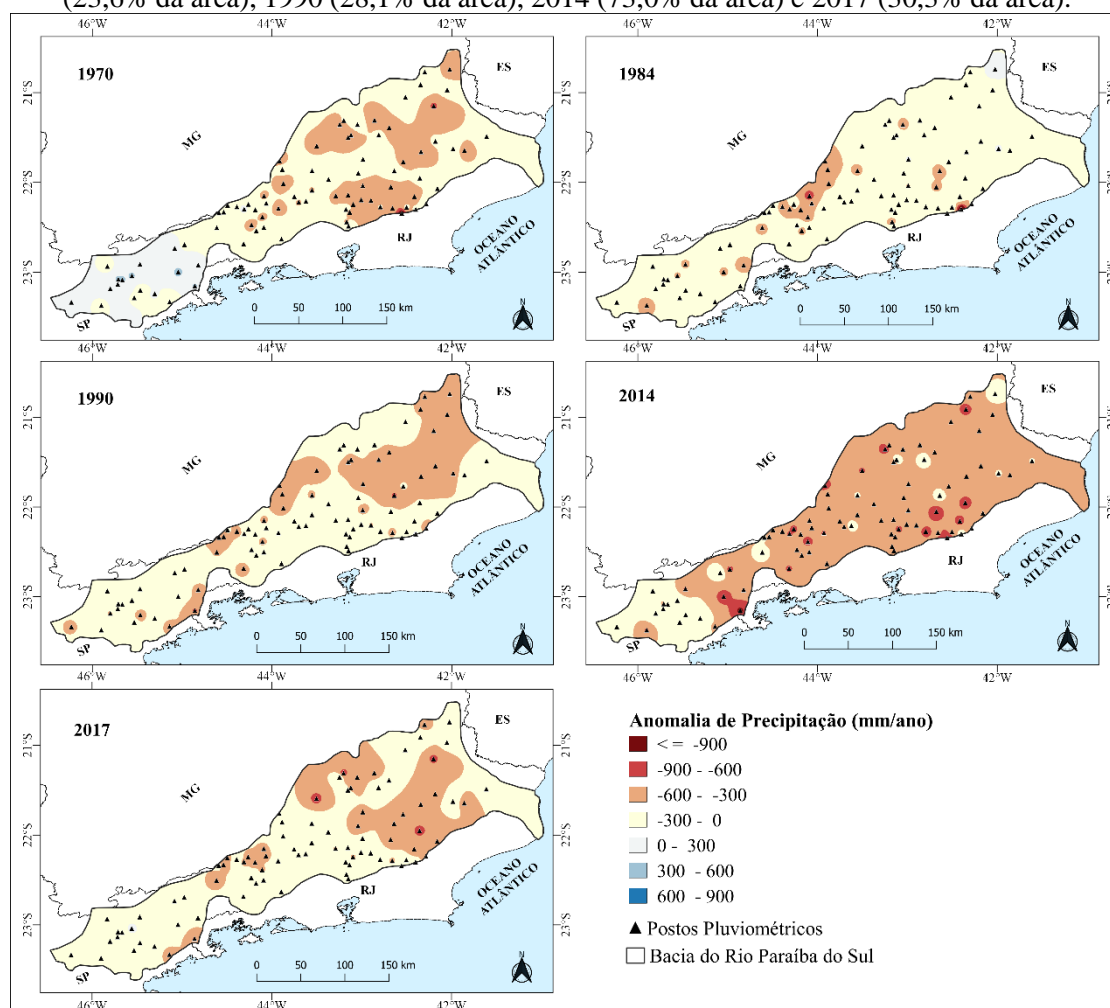
Os resultados da Figura 3 corroboram com os estudos de Luiz-Silva *et al.* (2015), Coelho *et al.* (2016a) e Santana *et al.* (2020), que evidenciam o déficit de precipitação de 2014. Cabe ressaltar que o déficit de precipitação de 2014 afetou diversos setores da sociedade, em especial, o abastecimento público e a produção de energia hidrelétrica, devido aos baixos níveis nos reservatórios presentes na bacia.

Segundo Luiz-Silva *et al.* (2015) e Coelho *et al.* (2016b) a causa do déficit de precipitação no Sudeste do Brasil, no verão 2013/2014, foi a atuação de um sistema intenso, persistente e anômalo de alta pressão atmosférica. Esse sistema, atuando como um bloqueio atmosférico, com duração de 45

dias (o que é extremamente raro na estação chuvosa) inibiu a passagem das frentes frias, além de dificultar o transporte da umidade da Amazônia para a porção central do Brasil, inibindo assim a formação do Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (LUIZ-SILVA *et al.*, 2015; COELHO *et al.*, 2016b; NOBRE *et al.*, 2016).

Para destacar os déficits anuais de chuva na Bacia do Rio Paraíba do Sul, na Figura 4 é apresentada as anomalias de precipitação média anual (1970 a 2018) para os anos considerados secos ($SPI \leq -1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul (1970, 1984, 1990, 2014 e 2017). Observa-se que nos anos de 1970, 1984, 1990 e 2017, em sua maioria, as anomalias foram negativas com déficit de até 300 mm/ano, apresentando em algumas áreas (principalmente na parte norte da bacia) anomalias entre -600 e -300 mm/ano. Já em 2014, as anomalias de precipitação foram mais intensas e mais abrangente, com grande parte da Bacia do Rio Paraíba do Sul apresentando déficits entre -900 e -600 mm/ano.

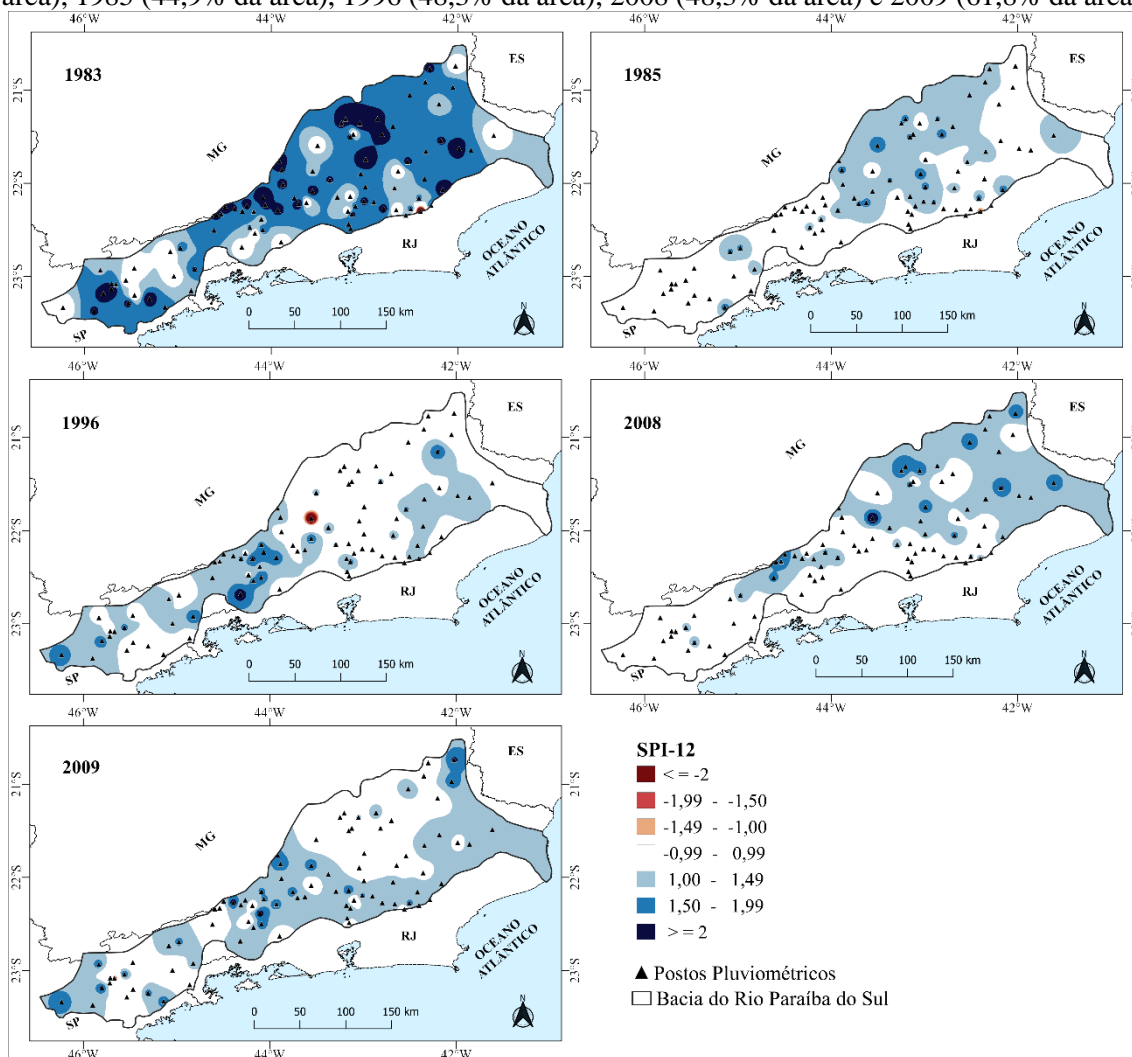
Figura 4 – Abrangência espacial da anomalia de precipitação (mm/ano) para os anos considerados secos ($SPI \leq -1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1970 (31,5% da área), 1984 (23,6% da área), 1990 (28,1% da área), 2014 (73,0% da área) e 2017 (30,3% da área).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Nas Figuras 5 e 6 são mostradas a abrangência espacial da intensidade do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) e a da anomalia de precipitação (mm/ano), respectivamente, para os anos considerados úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul (1983, 1985, 1996, 2008 e 2009) no período considerado (1970 a 2018). Na Figura 5, observa-se que o ano de 1983 além de apresentar a maior cobertura espacial (77,5% da área), foi o ano em que os eventos úmidos foram mais intensos, com eventos considerados extremamente úmido ($SPI \geq 2,00$).

Figura 5 – Abrangência espacial da intensidade do SPI de 12 meses (janeiro a dezembro) para os eventos úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1983 (77,5% da área), 1985 (44,9% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 2009 (61,8% da área).

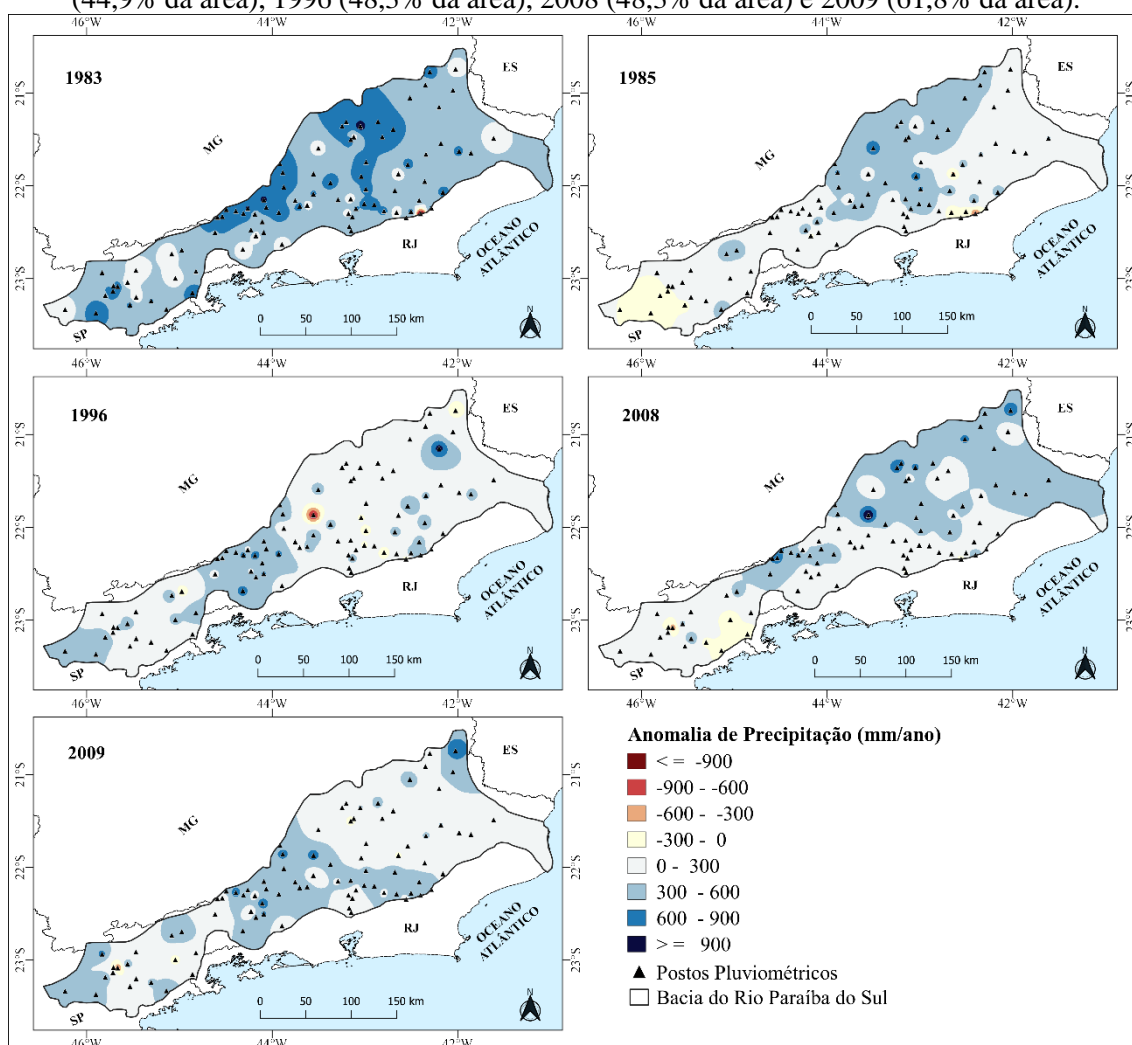


Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 6, observa-se que as anomalias positivas de precipitação dos anos considerados úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções foram, em sua maioria, de até 600 mm/ano. Com relação a área de abrangência e intensidade dos eventos, os anos 1985 e 2008 apresentaram comportamento semelhante, com maiores anomalias principalmente na área do estado de Minas Gerais. Nos eventos

de 1996 e 2009, as anomalias também apresentaram comportamento semelhante, mas os maiores valores foram observados principalmente na divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Já em 1983, os eventos foram mais abrangentes e intensos, com anomalias maiores que 300 mm/ano em praticamente toda a Bacia do Rio Paraíba do Sul, apresentando áreas com anomalias maiores que 600 mm/ano.

Figura 6 – Abrangência espacial da anomalia de precipitação (mm/ano) para os anos considerados úmidos ($SPI \geq 1,00$) de maiores proporções que atingiram a Bacia do Rio Paraíba do Sul: 1983 (77,5% da área), 1985 (44,9% da área), 1985 (44,9% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 2009 (61,8% da área).



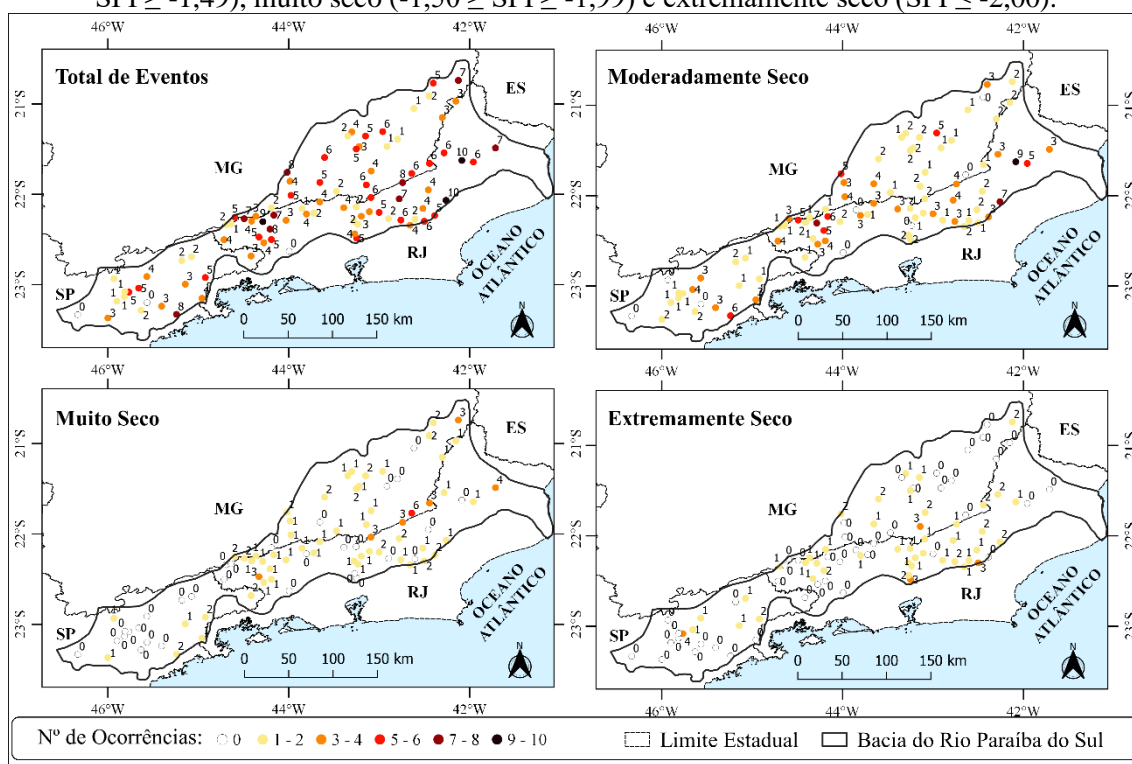
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 7 é mostrado o total de ocorrência de eventos secos ($SPI \leq -1,00$) registrados na Bacia do Rio Paraíba do Sul para o período de 1970 a 2018, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente seco ($-1,00 \geq SPI \geq -1,49$), muito seco ($-1,50 \geq SPI \geq -1,99$) e extremamente seco ($SPI \leq -2,00$). Para os eventos considerados moderadamente seco ($-1,00 \geq SPI \geq -1,49$), observa-se que a maioria dos casos ocorreram na porção norte fluminense da bacia, em

Visconde de Imbe-RJ e Ribeirão de São Joaquim-RJ com 7 eventos cada, e em Três Irmãos-RJ com o registro de 9 eventos.

Os eventos considerados muito seco ($-1,50 \geq \text{SPI} \geq -1,99$) ocorreram com maior frequência em 7 postos pluviométricos, distribuídos entre os estados de Minas Gerais (Carangola e Volta Grande) e no Rio de Janeiro (Cardoso Moreira, Fazenda da Barra, Paquequer, Anta e Glicério). Para os eventos considerados extremamente seco ($\text{SPI} \leq -2,00$), os maiores registros foram encontrados nos postos de Cerâmica Quirino-SP com 4 eventos e, Itamarati-RJ, Vargem Alta-RJ e Estevão Pinto-MG, com 3 eventos cada, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Total de ocorrência de eventos secos ($\text{SPI} \leq -1,00$) entre 1970 e 2018 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente seco ($-1,00 \geq \text{SPI} \geq -1,49$), muito seco ($-1,50 \geq \text{SPI} \geq -1,99$) e extremamente seco ($\text{SPI} \leq -2,00$).

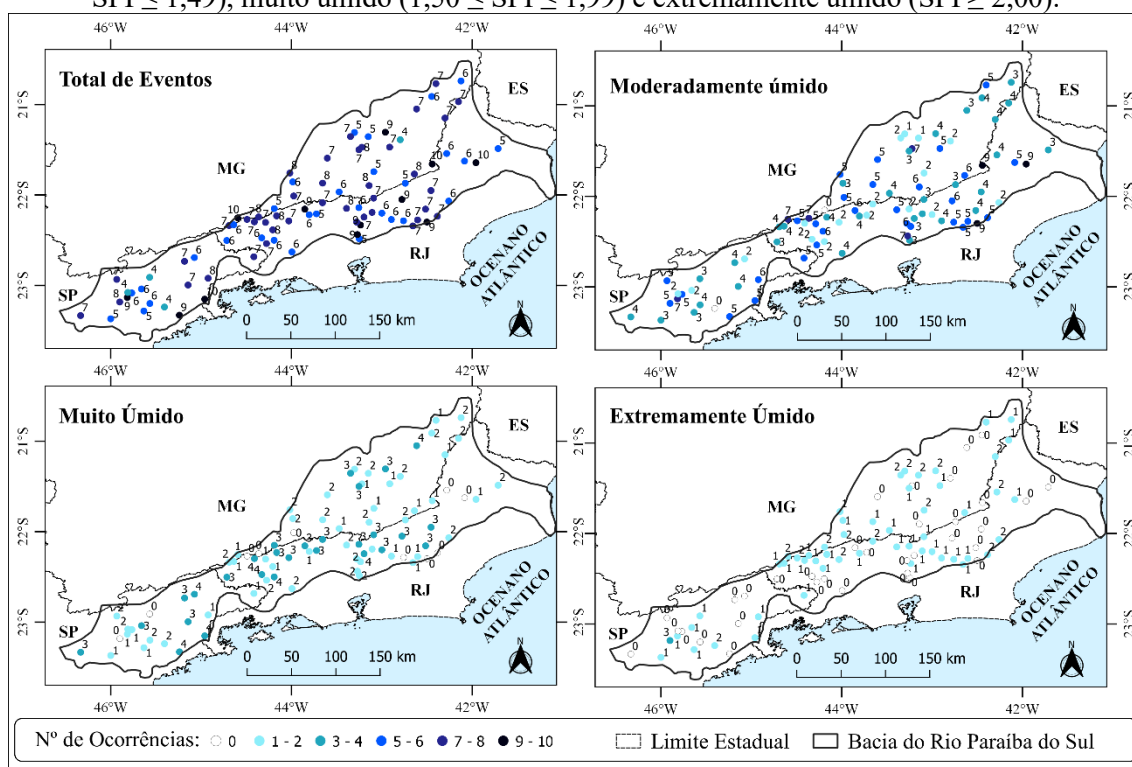


Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 8, observa-se o total de ocorrência de eventos úmidos ($\text{SPI} \geq 1,00$) para o período de 1970 a 2018, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente úmido ($1,00 \leq \text{SPI} \leq 1,49$), muito úmido ($1,50 \leq \text{SPI} \leq 1,99$) e extremamente úmido ($\text{SPI} \geq 2,00$). Nota-se que, assim como observado no número de ocorrência dos eventos moderadamente seco (Figura 7), nos eventos considerados moderadamente úmido (Figura 8), as áreas com maior número de ocorrência estão localizadas na região norte da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Os postos pluviométricos com maiores registros (9 eventos) foram Dois Rios-RJ, Fazenda da Barra-RJ e Virgem Alta-RJ. Para os eventos considerados muito úmido ($1,50 \leq SPI \leq 1,99$), no período de 1970 a 2018, a maior ocorrência foi de 4 eventos, registrados em estações localizadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Para os casos extremamente úmidos ($SPI \geq 2,00$), os registros foram entre 1 e 2 eventos, exceto para o posto pluviométrico Pararangubá-SP, com 3 eventos extremamente úmido.

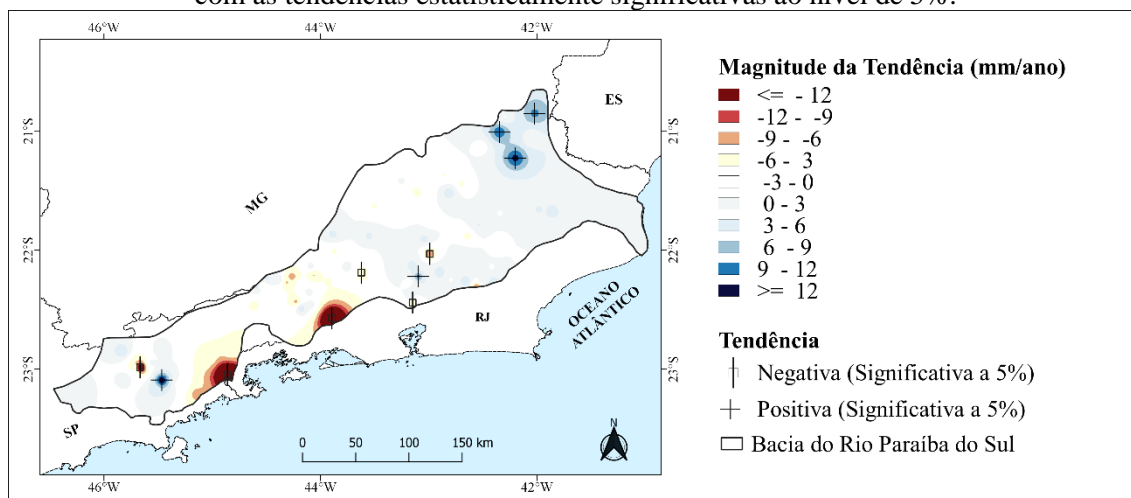
Figura 8 – Total de ocorrência de eventos úmidos ($SPI \geq 1,00$) entre 1970 e 2018 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, e o número de ocorrência dos eventos em suas respectivas intensidades, moderadamente úmido ($1,00 \leq SPI \leq 1,49$), muito úmido ($1,50 \leq SPI \leq 1,99$) e extremamente úmido ($SPI \geq 2,00$).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 9 é apresentado os resultados do estimador de Sen, com as magnitudes das tendências das séries anuais de precipitação, como também apresenta os resultados do teste de Mann-Kendall, com as tendências estatisticamente significativas ao nível de 5%. Observa-se que, dos 88 postos pluviométricos analisados, 11 apresentaram tendências estatisticamente significativas a um nível de confiança de 95%, sendo 6 negativas e 5 positivas, indicando que o regime pluviométrico na Bacia do Rio Paraíba do Sul vem sofrendo alterações locais.

Figura 9 – Magnitude das tendências das séries anuais de precipitação e o resultado do teste de Mann-Kendall com as tendências estatisticamente significativas ao nível de 5%.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Com relação a magnitude das tendências, observa-se que as regiões com maiores magnitudes foram as que apresentaram tendências estatisticamente significativas a um nível de confiança de 95%, sugerindo aumento acima de 9 mm no total pluviométrico anual nos postos pluviométricos localizados em Areal-RJ (+9,92 mm/ano), Patrocínio do Muriaé-MG (+12,97 mm/ano), Jussara-MG (+11,49 mm/ano), Carangola-MG (+9,67 mm/ano) e Fazenda São João-SP (+14,8 mm/ano). Já as maiores taxas de diminuição foram observadas nos postos localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, sendo -38,88 mm/ano em Vigário Descarga D'água-RJ e -32,78 mm/ano em Alto S. do Mar-B Mato Limpo-SP.

Esses resultados estão de acordo com estudo realizado por Santana *et al.* (2020), que considerando as regiões que apresentaram tendências significativas ao nível de confiança de 95%, também observou a maior taxa de aumento no posto pluviométrico Fazenda São João-SP (+14,8 mm/ano), e a menor, no posto pluviométrico Vigário Descarga D'água-RJ (-38,88 mm/ano).

4. CONCLUSÕES

Este estudo consistiu em analisar os eventos secos e chuvosos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que é uma região estratégica para o país, onde encontram-se os maiores polos industriais e populacionais, altamente dependentes da disponibilidade hídrica da região. Os eventos de déficit e de excesso de precipitação foram caracterizados pelo índice de precipitação padronizada utilizando dados de precipitação de 88 postos pluviométricos no período de 1970 a 2018.

A partir das séries temporais do SPI-12, identificou-se que os eventos secos de maior abrangência espacial, ocorridos entre 1970 a 2018, foram registrados em 2014 (73,0% da área), 1970 (31,5% da área), 2017 (30,3% da área), 1990 (28,1% da área) e 1984 (23,6% da área). Enquanto os eventos chuvosos de maior abrangência espacial foram registrados em 1983 (77,5% da área), 2009 (61,8% da área), 1996 (48,3% da área), 2008 (48,3% da área) e 1985 (44,9% da área). Desses eventos, destacam-se o déficit de precipitação de 2014 e o excesso de precipitação de 1983, pois foram os mais abrangentes e intensos.

Nos anos chuvosos de maior abrangência espacial, as anomalias de precipitação foram, em sua maioria, de até 600 mm/ano, apresentando em 1983 anomalias maiores que 600 mm/ano em algumas áreas. Nos eventos secos de maior abrangência espacial, os déficits de precipitação foram, em sua maioria, de até -300 mm/ano, com anomalias em algumas áreas entre -600 e -300 mm/ano. No entanto, em 2014, as anomalias foram mais intensas e mais abrangentes, com grande parte da bacia apresentando déficits entre -900 e -600 mm/ano. Com relação a localização exata (área) da bacia atingida por cada um dos eventos mais severos e de maior abrangência espacial, destaca-se a região norte da bacia por ser a mais atingida pelos eventos secos.

Ao analisar o total de ocorrência dos eventos secos ($SPI \leq -1,00$) e úmidos ($SPI \geq 1,00$) registrados na Bacia do Rio Paraíba do Sul, para o período de 1970 a 2018, observou-se que toda a região da bacia foi afetada por eventos secos e chuvosos e, assim como observado no número de ocorrência dos eventos moderadamente seco, nos eventos considerados moderadamente úmido, a região norte da Bacia foi a que apresentou maior número de ocorrência.

Na análise de tendência das séries anuais de precipitação, dos postos que apresentaram tendência significativa ao nível de confiança de 95%, 6 foram negativas e 5 positivas, sugerindo que o regime pluviométrico na Bacia do Rio Paraíba do Sul vem sofrendo alterações locais, ou seja, em algumas regiões os totais de precipitação vêm diminuindo e em outras vêm aumentando. Com relação a magnitude das tendências, as maiores magnitudes positivas (acima de 9 mm/ano) foram observadas em Areal-RJ, Patrocínio do Muriaé-MG, Jussara-MG, Carangola-MG e Fazenda São João-SP. Nas

magnitudes negativas, destacam-se as registradas em Vigário Descarga D'água-RJ (-38,88 mm/ano) e Alto S. do Mar-B Mato Limpo-SP (-32,78 mm/ano), por apresentarem elevadas taxas de diminuição.

Este estudo assinala para a importância do monitoramento hidrológico pontual e regional e, reforça a importância do desenvolvimento de estratégias para o enfrentamento das ocorrências de eventos extremos de precipitação, de modo a garantir a segurança hídrica e o desenvolvimento social, ambiental e econômico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN I. A. (eds.). **Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. Dover Publications, Inc., New York, New York, 1046 pp, 1965.

BRASILIENSE, C. S.; DEREZYNSKI, C. P.; SATYAMURTY, P.; CHOU, S. C.; CALADO, R. N. **Climatologias da Temperatura do Ar e da Precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Região Sudeste do Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 43(1). P. 355-365, 2020.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. **Análise de superfícies por geostatística linear**. In: DRUCK S.; CARVALHO M. S.; CÂMARA G., MONTEIRO A.V.M. (EDS). *Análise espacial de dados geográficos*. Brasília, EMBRAPA, p.1-25, 2004

CAPRA, A.; CONSOLI, S.; SCICOLONE, B. **Long-term climatic variability in Calabria and effects on drought and agrometeorological parameters**. *Water Resources Management* 27(2): 601–617, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0204-0>

CARDOSO, A. O.; SILVA DIAS, P. L. **Identificação de trimestres extremos no regime pluviométrico do Sul e Sudeste do Brasil e relação com anomalias da TSM**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, p.149-162, 2004.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **The South Atlantic convergence zone: Persistence, intensity, form, extreme precipitation, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall**. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88-108, 2004. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2)

CEIVAP. 2001. **Comitê da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Bacia do rio Paraíba do Sul: Livro da Bacia. Brasília. Agência Nacional de Águas. Brasília, Distrito Federal.

CEPED UFSC. 2013. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: volume Rio de Janeiro. Florianópolis.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. **A seca de 2013 a 2015 na Região Sudeste do Brasil**. *Climanálise – Edição Especial de 30 anos*, p. 55-61, (2016a).

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L.

M. M.; DA ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. **The 2014 Southeast Brazil Austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections**. *Climate Dynamics* 46(11): 3737-3752, (2016b).

<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>

DU, J. FANG, J.; XU W.; SHI, P. **Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China**. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27(2): 377–387, 2013.

<https://doi.org/10.1007/s00477-012-0589-6>

EDWARDS, D. C.; MCKEE, T. B. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales**. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1997.

EPE. 2019. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: ano base 2018**. Ministério de Minas e Energia, Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>. Acesso em: mar 2021.

IORIS, A. A. R. **Os limites políticos de uma reforma incompleta: a implementação da Lei dos Recursos Hídricos na Bacia do Paraíba do Sul**. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 10(1): 61-85, 2011.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial**. 2018. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/EstudosePublicacoes/Publicacoes/index.htm&lang=/>. Acesso em: mar. 2021.

JENKINS, K.; WARREN, R. **Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the standardised precipitation index**. *Theoretical and Applied Climatology* 120: 41–54, 2015.

<https://doi.org/10.1007/s00704-014-1143-x>

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

LOUREIRO, R. S.; SARAIVA, J. M.; SARAIVA, I.; SENNA, R. C.; FREDO, A. S. **Estudo dos Eventos Extremos de Precipitação Ocorridos em 2009 no Estado do Pará**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. esp., 83 - 94, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130054>

LUIZ-SILVA, W.; NASCIMENTO, M. A.; MENEZES, W. F. **Atmospheric Blocking in the South Atlantic during the summer 2014: a synoptic analysis of the phenomenon.** Atmospheric and Climate Sciences, 5: 386–393, 2015.

MANN, H. B. **Non-parametric tests against trend.** Econometrica, 13p, 1945.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. **Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, 20(2): 215-226, 2005.

MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. **Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin.** Journal of Climate, v. 6, n. 4, p. 617-627, abr. 1993.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to the time scales.** In: 8TH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, p. 179-184, 1993.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **Drought monitoring with multiple time scales.** In Proceedings of the 9th Conference of Applied Climatology. Dallas TX. American Meteorological Society, Boston, MA. p. 233-236, 1995.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. **Influência da La Niña na estação chuvosa da Região Sudeste,** Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n. 3 p.345-353, 2007.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. Á.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. **Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015.** Journal of Water Resource and Protection 8: 252-262, 2016.

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B. da SILVA, M. G. A. J. **Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJI, v. 43, n 4, p. 364-375, 2020.

SANTOS, E. B.; DE FREITAS, E. D.; RAFEE, S. A.; FUJITA, T.; RUDKE, A. P, MARTINS, L. D.; FERREIRA DE SOUZA, R. A.; MARTINS, J. A. **Variabilidade espaço-temporal de eventos de chuva e seca no Bacia do Rio Paraná - Brasil e sua associação com o fenômeno El Niño - Oscilação Sul.** Int J Climatol. Manuscrito do autor aceito. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.7104>

SEN, P. K. **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau.** Journal of the American Statistical Association, 63(234): 1379-1389, 1968.

SILVA, C. A. M. DA. **Os Desastres no Rio de Janeiro: Conceitos e Dados**. Rio de Janeiro: Cadernos do Desenvolvimento Fluminense, p. 55-71, 2015.

TAO, H.; BORTH, H.; FRAEDRICH, K.; SCHNEIDERREIT, A.; ZHU, X. **Hydrological extremes in the Aksu-Tarim River Basin: Climatology and regime shift**. *Climate Dynamics* 46(7):2029-2037, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2649-3>

THOM, H. C. S. **A Note on the Gamma Distribution**. *Mon Weather Rev* 86(4): 117 -122, 1958.

THOM, H. C. S. **Some Methods of Climatological Analysis**. WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 53 pp. 1966.

WMO. World Meteorological Organization. **Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals**. WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341, 1989.

WU, H.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J.; WILHITE, D. A.; WEN, F. **Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons**. *International Journal of Climatology*, 27: 65-79, 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO

BRASIL, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sala de Situação**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/paraiba-do-sul/paraiba-do-sul-saiba-mais>. Acesso em: ago. 2019.

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: volume Rio de Janeiro. Florianópolis, 2013a.

CPTEC /INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Glossário**. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#n>. Acesso em: mar. 2021.

MARENGO, J. A; HASTENRATH, S. **Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin**. *Journal of Climate*, v. 6, n. 4, p. 617-627, abr. 1993.

PEREIRA, F. A.; PENHA, T. V.; MINUZZI, R. B.; LIMA, E. de P. **Variabilidade climática da precipitação em regiões de diferentes altitudes no estado do Rio De Janeiro**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 15, Vitória, ES, 2013. Anais [...] Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens. Vitória, ES: Departamento de geografia, CCHN, UFES, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/963086>.

SANTOS, C. E.; SATYAMURTY, P. **Eventos extremos de precipitação na Região Sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2001**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. p. 397-402, 2002.

APÊNDICE 1

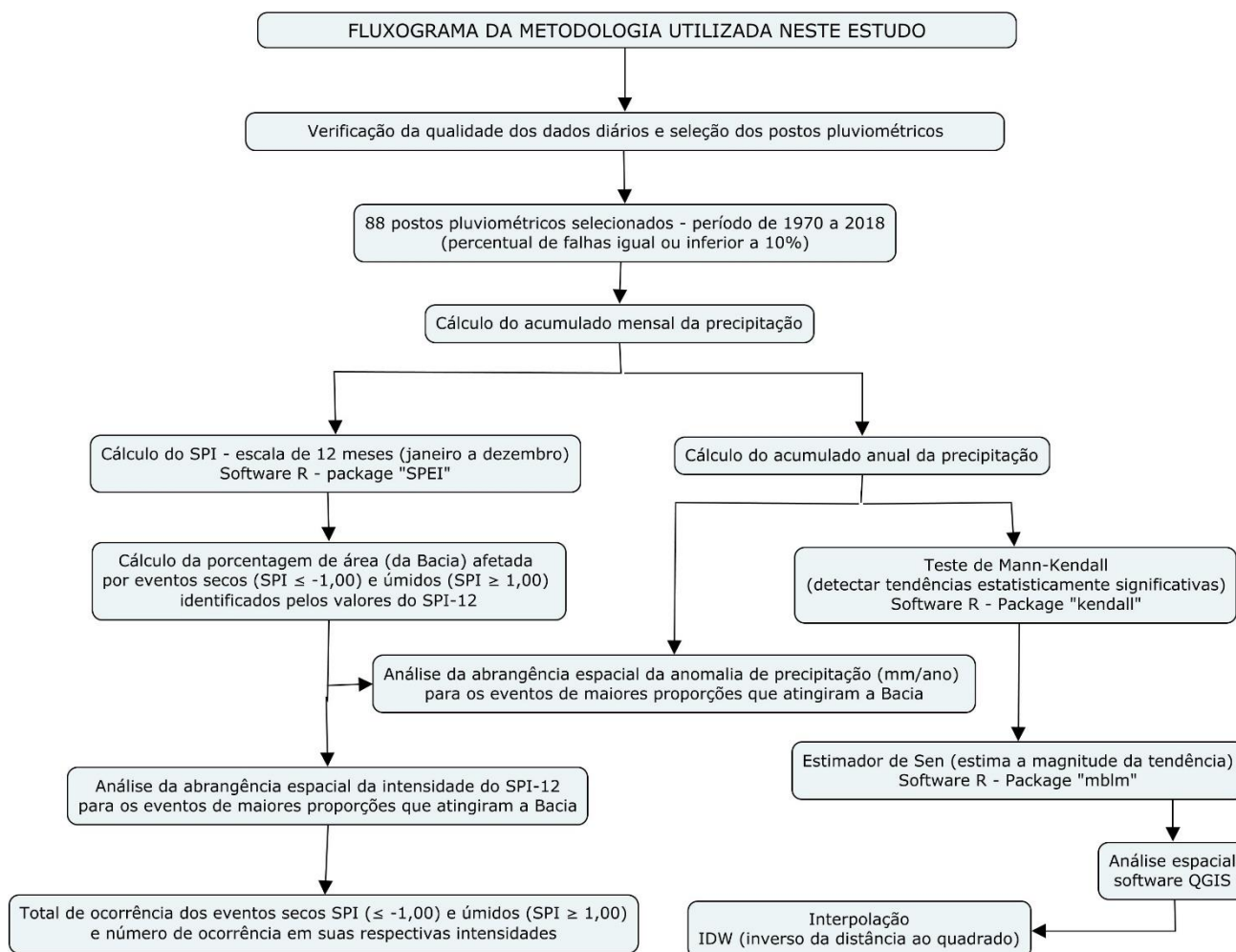
GLOSSÁRIO

Anticiclone	É uma região de circulação no sentido anti-horário no plano horizontal no Hemisfério Sul que podem se encontrar nos altos, médios e baixos níveis da atmosfera.
Baixa	É a região da relativa baixa pressão em comparação com a vizinhança no mesmo nível horizontal.
Ciclone	É uma área com pressão inferior àquela apresentada em áreas circunvizinhas, considerando-se um mesmo nível. Resulta em convergência de ventos, os que se movem no sentido horário no Hemisfério Sul.
Climatologia	É o estudo do clima. Inclui dados climáticos, a análise das causas das alterações no clima e a aplicação de dados climáticos na solução de objetivos específicos ou problemas operacionais.
Convecção	Movimentos em um fluido, responsáveis pelo transporte e mistura de suas propriedades. Estas propriedades podem ser calor e/ou umidade.
Convergência	É uma característica do escoamento em três dimensões em que um elemento material do fluido tende a diminuir seu volume. Em um escoamento de duas dimensões um elemento material do fluido tende diminuir a sua área sob o efeito da convergência.
Frente Fria	Massa de ar frio que avança na direção da massa do ar quente.
Meso-Escala	Escala de fenômenos meteorológicos que variam em tamanho de alguns quilômetros até cem quilômetros. Fenômenos menores são classificados pelos valores da micro-escala, enquanto que os de maior extensão são classificados na escala sinóptica.
Monção	Vento da circulação geral da atmosfera caracterizado pela persistência estacional de uma dada direção do vento e para uma variação marcante dessa direção de uma estação para a outra.
Movimento Vertical	É o componente vertical do movimento da parcela do ar. A sua magnitude, em geral, é muito menor, por duas a três ordens de magnitude, que os movimentos horizontais.
Nebulosidade	Parte do céu encoberto por uma camada de nuvem. O conceito parte da spanição da abóbada celeste em oito oitavos.
Precipitação	Todas as formas de água, líquida ou sólida, que caem das nuvens. Podem ser na forma de aguaceiros, chuva, chuveiro, granizo.

Seca	Clima, excessivamente, seco numa região específica. Deve ser, suficientemente, prolongado para que a falta de água cause sério desequilíbrio hidrológico.
Troposfera	Região da atmosfera entre a superfície e cerca de 15 km de altura.
Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	Região com muitas nuvens associadas a chuvas ora forte ora intermitente que persiste por no mínimo quatro dias e podem causar grandes transtornos como alagamentos, desabamentos e transbordamento.

Fonte: CPTEC /INPE (2021).

APÊNDICE 2



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).